

Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Ökonomische Chancen für die deutsche Industrie resultierend aus einer weltweiten Verbreitung von CSP (*Concentrated Solar Power*) – Technologien

Studie im Auftrag von Greenpeace Deutschland,
der Deutschen Gesellschaft Club of Rome und der
DESERTEC Foundation

Projektbericht

Daniel Vallentin

Dr. Peter Viebahn (Projektleiter)

Mitarbeit: Johannes Oos

Wuppertal, 24. Juni 2009

Projektbericht

GREENPEACE



DESERTEC
FOUNDATION



Ansprechpartner

M.Sc. Daniel Vallentin
Tel.: 0202/2492-309
Fax: 0202/2492-198
Mail: daniel.vallentin@wupperinst.org

Dr. Peter Viebahn
Tel.: 0202/2492-306
Fax: 0202/2492-198
Mail: peter.viebahn@wupperinst.org

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
Forschungsgruppe „Zukünftige Energie- und Mobilitätsstrukturen“
Döppersberg 19
42103 Wuppertal
www.wupperinst.org

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Zusammenfassung	8
1 Hintergrund und Fragestellung	10
2 Die mögliche Rolle von CSP in einem nachhaltigen Energiesystem	12
2.1 CSP – Technologiepfade	12
2.1.1 Parabolrinnen- und Fresnelkollektorsysteme	12
2.1.2 Solarturmtechnik	14
2.1.3 Dish-Stirling-Systeme	15
2.1.4 Einsatz thermischer Speicher	16
2.1.5 Zusammenfassung	17
2.2 Internationale und deutsche CSP-Initiativen	18
2.3 Existierende und geplante CSP-Kraftwerke weltweit	20
3 Aktivitäten und Marktstellung deutscher Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette	23
3.1 Engineering und Services	23
3.2 Komponentenzulieferer	24
3.3 Realisierung von CSP-Kraftwerken	28
3.4 Finanzierung von CSP-Kraftwerken	30
4 Stellenwert deutscher Unternehmen im Bereich CSP im weltweiten Kontext	41

5	Deutscher Anteil an der Wertschöpfung und den Arbeitsplatzeffekten	48
5.1	Vorgehensweise zur Quantifizierung deutscher Anteile an der Wertschöpfungskette	48
5.2	Szenarien für den weltweiten Ausbau von CSP	49
5.3	Referenzkraftwerk	51
5.4	Kostenszenarien	53
5.5	Wertschöpfungsszenarien	59
5.5.1	Deutscher Umsatzanteil am Referenzkraftwerk	59
5.5.2	Deutscher Anteil an der Wertschöpfung eines weltweiten Ausbaus von CSP	61
5.5.3	Beschäftigungsvolumen resultierend aus einer deutschen Beteiligung am weltweiten Ausbau von CSP	64
6	Schlussfolgerungen	67
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	69
8	Anhang	72

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Wichtige Parameter verschiedener CSP-Technologien im Vergleich	17
Tab. 3-1:	Übersicht deutscher Akteure im Geschäftsfeld CSP	31
Tab. 4-1:	Übersicht internationaler Akteure im Geschäftsfeld CSP	44
Tab. 5-1:	Werte der Greenpeace-Szenarien zum weltweiten Ausbau von CSP-Kraftwerken	50
Tab. 5-2:	Aufteilung der Gesamtkosten des CSP-Referenz-Kraftwerks in 2009	53
Tab. 5-3:	Annahmen für die Lernkurven zu CSP	54
Tab. 5-4:	Entwicklung der CSP-Investitionskosten für die drei Szenarienpfade	57
Tab. 5-5:	Entwicklung der CSP-Zubaukosten für die drei Szenarienpfade (pro Jahrzehnt)	58
Tab. 5-6:	Deutscher Umsatzanteil an den Investitionskosten je Kostenkomponente	59
Tab. 5-7:	Spezifisches Beschäftigungsvolumen des CSP-Ausbaus	65
Tab. 8-1:	Entwicklung der jährlichen CSP-Zubaukosten für die drei Greenpeace-Szenarien	72
Tab. 8-2:	Entwicklung der deutschen Wertschöpfung gemäß der CSP-Ausbauszenarien von Greenpeace (Referenzszenario)	73
Tab. 8-3:	Entwicklung der deutschen Wertschöpfung gemäß der CSP-Ausbauszenarien von Greenpeace (Moderate Szenario)	74
Tab. 8-4:	Entwicklung der deutschen Wertschöpfung gemäß der CSP-Ausbauszenarien von Greenpeace (Advanced Szenario)	75

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Prinzip der Parabolrinnentechnologie	12
Abb. 2-2:	Prinzip der Solarturmtechnologie	15
Abb. 2-3:	Prinzip der Dish-Stirling-Technologie	15
Abb. 2-4:	Zusammenhang von thermischen Speichern, zusätzlichen Solarfeldern und erzielbaren jährlichen Volllaststunden im Kraftwerksbetrieb	16
Abb. 2-5:	Vergleich der Solarwirkungsgrade verschiedener CSP-Technologien	17
Abb. 2-6:	EUMENA-Verbundnetz	18
Abb. 2-7:	Förderung von FuE-Vorhaben für CSP durch das Bundesumweltministerium	20
Abb. 2-8:	CSP-Kraftwerke weltweit, sortiert nach Ländern	21
Abb. 2-9:	CSP-Kraftwerke weltweit, sortiert nach Technologiepfaden	21
Abb. 3-1:	Geographische Verteilung von Bestellungen für Siemens-Dampfturbinen für CSP-Kraftwerke	26
Abb. 4-1:	CSP-Kraftwerke weltweit, sortiert nach durchführenden Unternehmen	41
Abb. 5-1:	Typisierter Lernkurvenverlauf für CSP-Schlüsselkomponenten	48
Abb. 5-2:	Greenpeace-Szenarien zum weltweiten Ausbau von CSP-Kraftwerken	50
Abb. 5-3:	Greenpeace-Szenarien im Vergleich mit Ausbauszenarien aus der EU-NEEDS-Studie	51
Abb. 5-4:	Verteilung der Investitionskosten des Referenzkraftwerks nach Kistner (2009)	52
Abb. 5-5:	Verteilung der Investitionskosten des Referenzkraftwerks	53
Abb. 5-6:	Lernkurven von solarthermischen Kraftwerken als Funktion von Solar Multiplen (SM) und Zeit mit Endordnung der Neubauten Andasol 1 und Nevada Solar 1	55
Abb. 5-7:	Entwicklung der CSP-Investitionskosten im moderaten GP-Szenario nach Lernkurvenansatz	56
Abb. 5-8:	Vergleich der Entwicklung der CSP-Investitionskosten für die drei Szenarienpfade	57
Abb. 5-9:	Zukünftige Kostenentwicklung der stromerzeugenden EE-Technologien bis 2050 und des Mittelwerts des gesamten EE-Mixes im LEITSZENARIO 2008	59
Abb. 5-10:	Umsatzanteil deutscher Unternehmen an den Investitionskosten für das Referenzkraftwerk je Kostenkomponente	60
Abb. 5-11:	Umsatzanteil deutscher Unternehmen an den gesamten Investitionskosten für das Referenzkraftwerk (Szenario 33%)	61
Abb. 5-12:	Umsatzanteile deutscher Unternehmen an der Wertschöpfung durch einen weltweiten CSP Ausbau im IEA-Referenzszenario	62
Abb. 5-13:	Umsatzanteile deutscher Unternehmen an der Wertschöpfung durch einen weltweiten CSP Ausbau im moderaten GP-Szenario	63

Abb. 5-14:	Umsatzanteile deutscher Unternehmen an der Wertschöpfung durch einen weltweiten CSP Ausbau im ehrgeizigen GP-Szenario	63
Abb. 5-15:	Kumulierte Umsatzanteile deutscher Unternehmen an der Wertschöpfung durch einen weltweiten CSP Ausbau	64
Abb. 5-16:	Beschäftigungsvolumen bei deutschen Unternehmen im IEA-Referenzszenario	65
Abb. 5-17:	Beschäftigungsvolumen bei deutschen Unternehmen im moderaten GP-Szenario	66
Abb. 5-18:	Beschäftigungsvolumen bei deutschen Unternehmen im ehrgeizigen GP-Szenario	66

Zusammenfassung

Um das vom Weltklimarat (IPCC) geforderte 2°C-Ziel einhalten zu können, ist eine Reduktion der globalen CO₂-Emissionen um 80% bis 2050 gegenüber dem Stand von 1990 zwingend notwendig. Hierbei wird auch solarthermischen Kraftwerken eine immer größere Bedeutung beigemessen. Diese bündeln mit konzentrierenden Spiegeln die Solarstrahlung, weshalb sie auch als Concentrated Solar Power (CSP) bezeichnet werden. Die konzentrierte Strahlung wird anschließend in thermische Energie umgewandelt, die für den Antrieb konventioneller Dampf- und Gasturbinen oder einer Stirlingmaschine verwendet werden kann. CSP ist in der Lage, mittels Wärmespeicherung „*power on demand*“ anzubieten und ist perspektivisch insbesondere für Erzeugungseinheiten zwischen 200 und 400 MW_{el} interessant. Es stellt folglich eine regenerative Alternative zu konventionellen Stromerzeugungstechnologien sowohl für Grund- und Spitzenlast als auch zum Ausgleich eines schwankenden Angebotes aus Wind und Photovoltaik dar. Neben der Stromerzeugung kann CSP über die Nutzung der Abwärme zum Kühlen von Gebäuden oder von industriellen Verfahren, der Herstellung von Wasserstoff oder dem Betrieb von Anlagen zur Meerwasserentsalzung genutzt werden.

Derzeit stehen vier CSP-Technologieoptionen im Mittelpunkt der Diskussion: Parabolrinnenkraftwerke, Solarturmanlagen, Fresnelanlagen und Dish Stirling-Anlagen. Weltweit befinden sich CSP-Kraftwerke mit einer Gesamtkapazität von ca. 604 MW_{el} in Betrieb. Davon sind 569 MW_{el} Parabolrinnenkraftwerke. Die anderen CSP-Technologiepfade stellen mit 32,5 MW_{el} lediglich kleinere Anteile. Die Mehrheit der derzeit operierenden Anlagen befindet sich mit 419 MW_{el} in den USA (davon jedoch 354 MW_{el} aus den 80er Jahren). Es folgt Spanien mit 183 MW_{el} Erzeugungskapazität. Aktuell sind 761 MW_{el} CSP-Kapazitäten in Bau, 5.780 MW_{el} befinden sich in der Planung.

Deutsche Unternehmen haben bei der Konzeption, Planung und dem Bau von CSP-Kraftwerken weltweit eine prominente Stellung inne. Firmen wie MAN Ferrostaal und Solar Millennium sind international gut positionierte Generalunternehmer, die die Planung, den Bau und den Betrieb von CSP-Kraftwerken koordinieren. Komponentenzulieferer wie Schott Solar (Receiver), Flabeg (Spiegel) oder Siemens (Turbinen) gehören zu den weltweit führenden Technologieanbietern. Allerdings herrscht auf dem internationalen CSP-Markt zunehmende Konkurrenz. Bei den im Bau befindlichen und geplanten Anlagen sind insbesondere spanische Unternehmen wie Abengoa Solar, Solel, Aries oder Iberdrola, stark vertreten. In den USA spielt der Technologieanbieter BrightSource Energy eine prominente Rolle. Um an einem weltweiten Ausbau der CSP-Technologie partizipieren zu können, müssten deutsche Unternehmen ihre Produktionskapazitäten deutlich erweitern.

Inwieweit könnte die deutsche CSP-Industrie von einem weltweiten Ausbau der Technologie profitieren? Kürzlich veröffentlichte Greenpeace International gemeinsam mit den Solarfachverbänden SolarPaces und ESTELA zwei Szenarienpfade für einen „moderaten“ und einen „ehrgeizigen“ weltweiten Ausbau von CSP bis zum Jahr 2050. Die Szenarien gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2050 831 GW_{el} (*moderates Szenario*) oder 1.524 GW_{el} (*ehrgeiziges Szenario*) CSP-Kapazitäten in Betrieb sein könnten. Die vorliegende Studie nimmt auf Basis bestehender Kosten- und Wertschöpfungsanalysen eine grobe Abschätzung der aus den Greenpeace-Szenarien resultierenden Umsatzchancen für die deutsche Industrie vor. Als Grundlage dienen dabei Lernkurvenberechnungen der EU-NEEDS-Studie sowie eine Wertschöpfungsstudie von MAN Ferrostaal. Letztere nimmt an, dass die deutsche Industrie, je

nach Rahmenbedingungen, zu 10%, 33% oder 41% an der durch einen Ausbau von CSP entstehenden Wertschöpfung partizipieren könnte. Der Wert 33% entspricht den heutigen Kapazitäten der deutschen Industrie. Eine Verringerung des deutschen Anteils auf 10% könnte u.a. durch fehlende Finanzierung eintreten, eine Erhöhung auf 41% durch den Ausbau von Kompetenzen in strategisch wichtigen Bereichen. Die drei genannten Umsatzanteile deutscher Unternehmen werden bei der Berechnung der deutschen Wertschöpfungsanteile an einem globalen CSP-Ausbau zugrunde gelegt. Da in der Studie von MAN Ferrostahl nicht alle Kostenkomponenten eines CSP-Kraftwerks berücksichtigt sind, werden in einer vierten Variante die von ihm ausgewiesenen Umsatzanteile auf ein vollständiges Referenzkraftwerk angewendet. Dies ergibt eine Wertschöpfungsbeteiligung von 37%.

Aufgrund der starken Ausbaudynamik sowohl im *moderaten* als auch im *ehrgeizigen Greenpeace-Szenario* könnten deutsche Unternehmen beim Bau von solarthermischen Kraftwerken deutliche Umsätze erzielen, die bis zum Jahr 2050 kontinuierlich ansteigen. Im *moderaten Szenario* startet die Entwicklung im Zeitraum von 2011-2015 mit Umsätzen zwischen 8,4 und 34,4 Mrd. € pro Jahrfünft und erreicht am Ende des Szenariozeitraums (2046-2050) zwischen 58,3 und 239,1 Mrd. €. Im *ehrgeizigen Szenario* betragen die Umsätze am Beginn zwischen 10,2 und 41,7 Mrd. € pro Jahrfünft und steigen auf 113,1 bis 463,7 Mrd. € im Zeitraum 2046-2050. Die breite Spanne ergibt sich jeweils aus den vier oben erläuterten möglichen Prozentanteilen deutscher Unternehmen an der weltweiten Wertschöpfung.

Das *gesamte* Wertschöpfungspotential deutscher Unternehmen im Zeitraum von 2010 bis 2050 summiert sich im *moderaten Szenario* auf 269-1.102 Mrd. € und im *ehrgeizigen Szenario* auf 476-1.953 Mrd. €.

Der CSP-Ausbau geht mit einem hohen Beschäftigungsvolumen einher. Weltweit wären im Jahr 2050 zwischen 357.000 (*moderates Szenario*) und 582.000 (*ehrgeiziges Szenario*) Arbeitskräfte für den Bau Solarthermischer Kraftwerke notwendig, um die skizzierten Ausbaupfade zu realisieren. Davon könnte die Zahl der Arbeitsplätze unter dem Dach deutscher Unternehmen im *moderaten Szenario* zwischen 36.000 und 146.000 und im *ehrgeizigen Szenario* zwischen 58.000 und 238.600 betragen. Sind deutsche Unternehmen auch in den Betrieb dieser Kraftwerke involviert, würden weitere Arbeitskräfte hinzu kommen. Zum Vergleich: Im Jahr 2008 belief sich die Bruttobeschäftigung im gesamten Bereich erneuerbare Energien in Deutschland auf 274.700. In seiner optimistischen Prognose rechnet das Bundesumweltministerium (inklusive solarthermischer Kraftwerke) bisher mit einem Anstieg auf 415.000 Arbeitsplätze bis zum Jahr 2030.

Die Ergebnisse dieser Studie stellen jedoch nur eine untere Grenze der Abschätzung dar. Werden die Kraftwerke nicht mit einem 7,5-Stunden-Speicher, sondern zur Erhöhung der Volllaststunden mit der doppelten Speicherkapazität gebaut, würde pro Kraftwerk ein weiteres Kollektorfeld sowie ein zweiter Speicher hinzukommen, was entsprechend höhere Investitionen und Arbeitsplätze verursachen würde. Die Studie geht von einer Kraftwerks-Lebensdauer von 40 Jahren aus, so dass bisher kein Ersatz von Kraftwerken in dem Zeitraum bis 2050 einkalkuliert wurde. Weiterhin betrachtet sie nur Stromerzeugungskapazitäten und berücksichtigt nicht, dass zum Aufbau von Meerwasserentsalzungsanlagen zusätzliche Kraftwerkskapazität installiert werden müsste.

1 Hintergrund und Fragestellung

Um das vom IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) geforderte 2°C-Ziel einhalten zu können, ist eine Reduktion der globalen CO₂-Emissionen um 80% bis 2050 gegenüber dem Stand von 1990 zwingend notwendig (Wuppertal Institut 2009). Hierbei wird auch solarthermischen Kraftwerken – je nach Energieszenario – eine immer größere Bedeutung zugemessen: Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) müssen ca. 11% (4.754 TWh) des weltweiten Strombedarfs durch Sonnenenergie gedeckt werden. Neben Photovoltaik sollen solarthermische Kraftwerke (Concentrated Solar Power, CSP) etwa 46% (ca. 2.200 TWh) der prognostizierten Menge an Solarstrom erzeugen. Im Energy[R]evolution Szenario von Greenpeace International und EREC (European Renewable Energy Council) werden rund 6.000 TWh an CSP Strom im Jahr 2050 angenommen (bei einer installierten Leistung von 801 GW) (Greenpeace International et al. 2008), während andere Studien bis zu 1.000 GW installierter Leistung in 2050 betrachten (Viebahn et al. 2008). Die DESERTEC-Initiative gibt ein Ziel von 5.000 GW installierte Leistung im Jahr 2050 vor (Knies 2009).

Der Export von CSP-Technologien in die „Sunbelt“-Regionen bietet große Chancen für deutsche Anlagenbauer. So sind u.a. Schott Solar, die MAN Ferrostaal Group (NRW) mit ihrem Geschäftssegment „Solar Energy“, Flagsol (NRW), die Solar Power Group, Solar Millenium und Fichtner Solar auf dem Gebiet CSP aktiv. Schott Solar (Receiver) und Flagsol (Spiegel) haben eine weltweit führende Markstellung inne. E.On, RWE und EnBW zeigen Interesse an der Nutzung der Technologie, führende Versicherer wie die Münchner Rück erwägen, CSP als neues Geschäftsfeld aufzunehmen.

Aufbauend auf dieser Konstellation untersucht die vorliegende Studie den ökonomischen Effekt einer weltweiten Verbreitung von CSP-Technologien für deutsche Unternehmen. Für diese Zielsetzung sind folgende Fragestellungen von Relevanz:

- Welche Technologiepfade umfasst die Option CSP und wie ist der aktuelle Stand von deren Entwicklung, Demonstration und Kommerzialisierung?
- Welche Länder sind Schlüsselmärkte und/oder Vorreiter in der Entwicklung, Demonstration und Kommerzialisierung von CSP-Technologien?
- Welche Aktivitäten weisen deutsche Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette von CSP-Technologien bislang auf?
- Wie ist die Markstellung deutscher Unternehmen im Vergleich zu führenden internationalen Unternehmen zu bewerten?
- Welches Potential wird CSP-Technologien in Energieszenarien zugerechnet?
- Welche messbaren ökonomischen Effekte für deutsche Unternehmen, z.B. zusätzliche Wertschöpfung und die Schaffung neuer Arbeitsplätze, resultieren aus den genannten Potentialen?

Die Studie ist wie folgt strukturiert: *Kapitel 2* stellt die wichtigsten Technologiepfade sowie internationale und deutsche Initiativen zur Verbreitung von CSP in knapper Form dar. Anschließend wird ein Überblick über weltweit existierende und geplante CSP-Kraftwerke gegeben. *Kapitel 3* beschreibt die Aktivitäten und Markstellung deutscher Unternehmen auf dem Geschäftsfeld CSP. In *Kapitel 4* wird die Marktpositionierung der deutschen Unterneh-

men im Vergleich mit führenden internationalen Wettbewerbern diskutiert. *Kapitel 5* nimmt schließlich auf Basis existierender CSP-Ausbaupfade und Wertschöpfungsanalysen eine grobe Bewertung möglicher Wertschöpfungsanteile deutscher Unternehmen an einer weltweiten Verbreitung von CSP vor. *Kapitel 6* fasst die Ergebnisse der Studie in thesenartigen Schlussfolgerungen zusammen.

2 Die mögliche Rolle von CSP in einem nachhaltigen Energiesystem

2.1 CSP – Technologiepfade

Bei der solarthermischen Stromerzeugung bündeln konzentrierende Spiegel die Sonnenstrahlung, weshalb die entsprechenden Technologien auch als Concentrated Solar Power (CSP) Technologies bezeichnet werden. Die konzentrierte Strahlung wird anschließend in thermische Energie umgewandelt, die für den Antrieb konventioneller Dampf- und Gasturbinen oder einer Stirlingmaschine verwendet werden kann. CSP ist in der Lage, mittels Wärmespeicherung „power on demand“ anzubieten und ist perspektivisch insbesondere für Erzeugungseinheiten zwischen 200 und 400 MW_{el} interessant. Es stellt folglich eine grundlastfähige regenerative Alternative zu konventionellen Stromerzeugungstechnologien dar. Neben der Stromerzeugung kann CSP über die Nutzung der Abwärme aus dem Kraftwerksblock zum Kühlen von Gebäuden oder von industriellen Verfahren, der Herstellung von Wasserstoff oder dem Betrieb von Anlagen zur Meerwasserentsalzung genutzt werden.

Hier nicht betrachtet werden Aufwind-Kraftwerke, die zwar auch zu den solarthermischen Kraftwerken zählen, jedoch nicht konzentrieren. Sie nutzen den Kamineffekt warmer Luft und erzeugen Strom mittels Windkraftturbinen, die in dem Turm installiert sind.

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die aktuell diskutierten CSP-Technologiepfade dargestellt.

2.1.1 Parabolrinnen- und Fresnelkollektorsysteme

Parabolrinnensysteme sind die am besten erprobte und derzeit wirtschaftlichste Technologie zur solarthermischen Stromerzeugung. Zunächst wird die Strahlung durch parabolförmige, einachsige Kollektoren gebündelt. In der Brennnlinie des Spiegels befindet sich ein Absorberrohr, durch welches ein Arbeitsmedium fließt, das aufgrund der stark konzentrierten Strahlung auf bis zu 400°C erhitzt wird. Derzeit werden für diesen Zweck synthetische Thermo-Öle oder Salzschnmelzen verwendet (Abb. 2-1).

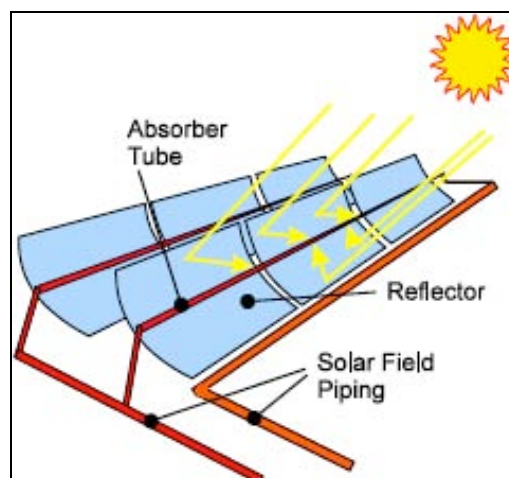


Abb. 2-1: Prinzip der Parabolrinnentechnologie

Quelle: Geyer und Manciny 2006

Seit den 1980er Jahren wird die Parabolrinnentechnologie in Kalifornien in neun „Solar Electricity Generating Systems“ (SEGS) mit einer Erzeugungskapazität von insgesamt 354 MW_{el} kommerziell genutzt. Der durchschnittliche Jahreswirkungsgrad von Parabolrinnenkraftwerken liegt bei 9-14 % (Viebahn et al. 2008). Der Wirkungsgrad der Anlagen wird insbesondere durch die begrenzte Temperatur des Arbeitsmediums limitiert, weshalb derzeit im Rahmen von FuE-Projekten die Alternative entwickelt wird, Direktdampf anstatt von Thermoöl zu verwenden (Direct Steam Generation, DSG).

Die Betriebserfahrungen mit existierenden Parabolrinnenkraftwerken sind bei einer durchschnittlichen technischen Verfügbarkeit von über 98% sehr positiv (BINE 2003). Während der Sommermonate arbeiten Parabolrinnenkraftwerke täglich etwa 10-12 Stunden im Volllastmodus. Um die Zahl der Betriebsstunden zu erhöhen, wenn nicht ausreichend Sonnenenergie vorhanden ist, nutzen die SEGS-Anlagen Erdgas als Back-up. CSP-Prozesse können auch in ein kombiniertes Gas- und Dampfturbinenkraftwerk (GuD) integriert werden. Derartige Hybridverfahren werden als „Integrated Solar Combined Cycle“ (ISCC)-Systeme bezeichnet. Hier wird der Abhitzeessel so modifiziert, dass eine zusätzliche Dampferzeugung auf Basis von Solarstrahlung erfolgen kann.

Im Jahr 2006 wurde in den USA erstmals seit den 1980er Jahren ein neues Parabolrinnenkraftwerk (Kapazität: 1 MW_{el}) in Betrieb genommen. Im Frühling 2007 ist in Nevada (USA) eine weitere Anlage mit einer Kapazität von 64 MW_{el} angelaufen („Nevada Solar One“). Zusätzliche U.S.-Anlagen mit einer Kapazität von ca. 1.690 MW_{el} sind angekündigt.

In Spanien befinden sich derzeit Parabolrinnenanlagen mit einer Kapazität von ca. 365 MW_{el} in Bau. Als starker Anreiz fungiert in diesem Fall ein Einspeisetarif in Höhe von 27 €/ct/kWh_{el} für Elektrizität aus solarthermischen Kraftwerken (Royal Decree 661/2007). Als „Vorreiterprojekte“ gelten die 50 MW_{el}-Andasol-Kraftwerke der Solar Millenium AG, von denen das erste im Probetrieb läuft, das zweite im Bau und das dritte in der Planung ist. Andasol III soll als erstes kommerzielles Kraftwerk mit Direktdampf anstatt mit Thermoöl arbeiten.

In Ägypten, Algerien und Marokko sind ISCC-Anlagen mit einer solaren Gesamtkapazität von 60 MW_{el} im Bau. In Algerien wird die Stromerzeugung durch ISCC-Kraftwerke durch spezielle Einspeisesätze im Gesetz für Erneuerbare Energien aus dem Jahr 2004 gefördert. Bei einem Solaranteil von mehr als 25% an der Stromerzeugung einer ISCC-Anlage beträgt der Tarif bis zu 200% des regulären algerischen Strompreises.

Fresnel-Kollektoren arbeiten anstatt parabolisch gebogener Kollektoren mit fast flachen, parallel angeordneten Spiegeln. Diese konzentrieren das Sonnenlicht auf ein mehrere Meter darüber liegendes Absorberrohr. Ein Kollektor mit 24 Meter Breite und 1.000 Meter Länge kann im Absorberrohr Dampf mit mehr als 500°C für eine Stromleistung von ca. 5 MW produzieren (BINE 2003). Der Aufbau von Fresnel-Kollektoren ist einfach und für die Massenfertigung gut geeignet. Die geschlossene Anordnung der Spiegel erfordert zwei Drittel weniger Fläche als für Parabolrinnenkraftwerke. Obwohl die Effizienz etwa ein Drittel geringer als bei der Paraboltechnologie ist, werden netto 50% weniger Fläche und durch den „leichten“ Aufbau auch entsprechend weniger Materialien benötigt (Viebahn et al. 2008).

Allerdings befindet sich die Technologie in einem weniger ausgereiften Stadium als Parabolrinnensysteme. In den USA ist eine 5 MW_{el}-Anlage in Bau. Die größte Fresnel-Anlage wird im Rahmen des „Jordan/Aqaba Solar Water Project“ geplant. Ein mit Erdgas co-gefeuertes

Dampfkraftwerk soll 8,5 MW_{el} elektrische Energie, 40 MW_{th} thermische Energie und jährlich 140 GWh gekühlte Luft erzeugen (Kern 2006). Das Projekt befindet sich derzeit jedoch noch in einer Warteschleife. In Murcia, Spanien, ist seit März 2009 ein 1,4 MW_{el}-Fresnelkraftwerk in Betrieb. Das deutsche Unternehmen Novatec Biosol hat hierfür 18.000 m² Kollektorfläche des Typs Nova-1 geliefert (Selig 2009).

2.1.2 Solarturmtechnik

In Solarturmkraftwerken wird die Sonnenstrahlung durch ein großes Feld einzeln nachgeführter, nahezu flacher Planspiegel (Heliostaten) auf einen Turm fokussiert (Abb. 2-2). Ein auf dem Turm angebrachter Strahlungsempfänger absorbiert die Strahlungsenergie und gibt die Energie an ein Wärmeträgermedium ab. Die Temperatur des Mediums liegt meist zwischen 500-800 °C. Als Wärmeträger können direkt erzeugter Dampf, Salschmelzen oder Luft verwendet werden. Solarturmsysteme haben den Vorteil, dass die Energieübertragung lediglich an einem Punkt des Verfahrens erfolgt und dadurch der Energiebedarf für den Energietransport reduziert wird. Der Gesamtwirkungsgrad von Solarturmsystemen beträgt 13-18% (Viebahn et al. 2008). Durch eine Erhöhung der Temperatur des Wärmeträgermediums könnte der Wirkungsgrad um 20% erhöht werden (ESTELA 2009a).

Ein Vorteil von Turmkraftwerken ist, dass diese Technologie durch die hohen Temperaturen am Receiver für den Betrieb von Gas- und Dampfturbinen geeignet ist. In einer Pilotanlage in Almeria konnte das DLR bis zu 1.000 °C heiße Luft erzeugen und damit eine Gasturbine antreiben. Diese Technologie bietet sich daher auch für Hybridanlagen mit hohem Gesamtwirkungsgrad an (Zufeuerung durch Biomasse oder Erdgas in den Zeiten, in denen die Sonne nicht scheint oder die Temperatur im Auslegungspunkt nicht erreicht wird).

Gegenwärtig sind weltweit nur wenige Solarturmkraftwerke in Betrieb. In der spanischen Provinz Sevilla befindet sich das erste „neuere“ PS10-Kraftwerk von Abengoa, einem spanischen Anlagenbauer. Es hat eine Kapazität von 10 MW_{el}, nutzt Dampf als Wärmeträgermedium und ist mit einem thermischen Energiespeicher (20 MWh_{th}) ausgestattet. Die Anlage ist seit Februar 2007 in Betrieb. Am gleichen Standort hat ein weiteres Solarturmkraftwerk (PS 20) mit einer Kapazität von 20 MW_{el} Ende April 2009 den Betrieb aufgenommen. Torresol errichtet derzeit ebenfalls in der Provinz Sevilla eine 17 MW_{el}-Anlage. Torresol ist zu 60% im Besitz von Masdar, der Initiative für Erneuerbare Energie in Abu Dhabi, und zu 40% in den Händen von Sener, einer spanischen Ingenieursfirma. Die Gesamtkapazität weltweit angekündigter Solarturmprojekte summiert sich auf 935 MW_{el}.

In Deutschland wurde kürzlich der Testbetrieb eines 1,5 MW_{el}-Solarturmkraftwerks in Jülich erfolgreich abgeschlossen. Das Projekt wurde von den Stadtwerken Jülich in Auftrag gegeben und wird federführend von Kraftanlagen München (KAM) durchgeführt. Hauptziel sind hier allerdings die Entwicklung und perspektivisch der Export der verwendeten Technologie.

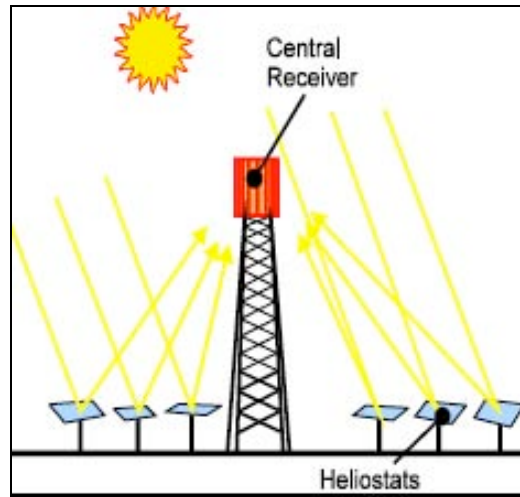


Abb. 2-2: Prinzip der Solarturmtechnologie

Quelle: Geyer und Manciny 2006

2.1.3 Dish-Stirling-Systeme

Im Gegensatz zu den zuvor vorgestellten CSP-Technologien sind Dish-Stirling-Systeme vorrangig für kleine Erzeugungseinheiten geeignet, deren Kapazität zwischen 5 und 50 kW liegt (BINE 2003). Allerdings können einzelne Systeme zu Farmen zusammengeschaltet werden. Dish-Stirling-Systeme bestehen aus einem parabolisch gekrümmten Konzentratorspiegel. Dieser bündelt die Solarstrahlung auf einen Receiver mit einer Stirlingereinheit, der im Brennpunkt des Spiegels angebracht ist. Der Receiver absorbiert die Strahlung und führt sie als Hochtemperaturwärme (bis zu 1.200°C) an den Stirlingmotor ab, der gekoppelt mit einem Generator Strom erzeugt (Abb. 2-3). Die Technologie wird seit Anfang der 1980er Jahre in Europa und den USA entwickelt. Sie kann mit einem vergleichsweise hohen Jahreswirkungsgrad von 15-24% betrieben werden und ist somit die effizienteste CSP-Technologieroute (Viebahn et al. 2008).

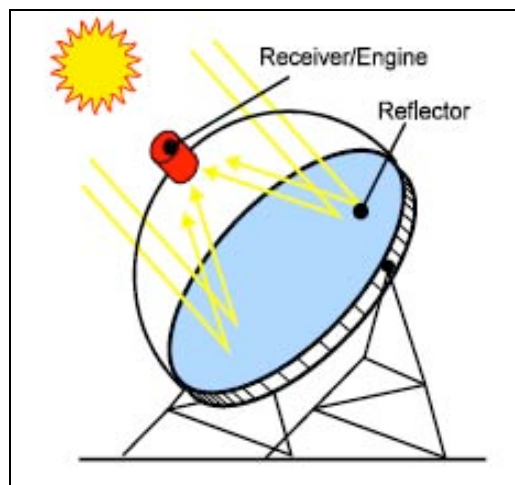


Abb. 2-3: Prinzip der Dish-Stirling-Technologie

Quelle: Geyer und Manciny 2006

Trotz langjähriger FuE-Aktivitäten sind noch keine Großanlagen in Betrieb. Im Jahr 2005 hat in Albuquerque, New Mexiko, eine 0,15 MW_{el}-Pilotanlage den Betrieb aufgenommen. Ende 2009 wird die Fertigstellung einer 1,5 MW_{el}-Anlage in Arizona erwartet. In Kalifornien entwickelt die Firma Stirling Energy Systems (SES) derzeit zwei große Dish-Stirling-Anlagen – SES Solar One (500 MW_{el}) und SES Solar Two (300 MW_{el}). Die Kapazitäten beider Anlagen können nachträglich auf 850 MW_{el} bzw. 900 MW_{el} erhöht werden. SES II wird voraussichtlich zwischen 12.000-36.000 Dish-Stirling-Systeme umfassen; SES I soll aus 20.000-34.000 Dish-Stirling-Engines bestehen (SES 2009).

2.1.4 Einsatz thermischer Speicher

Neben der kombinierten Verfeuerung von fossilen Brennstoffen kann die Verfügbarkeit von solarthermischen Kraftwerken auch durch eine Nutzung thermischer Energiespeicher erheblich erhöht werden. Auf diese Weise kann nach Sonnenuntergang weiter Strom produziert werden. Die Speicherdauer und damit die Speicherkapazität hängen von den Kosten der Speicher im Vergleich zur zusätzlichen Erlössituation ab: Derzeit, bei noch hohen Speicherkosten, liegt das betriebswirtschaftliche Optimum bei 6-7 Stunden. Sinken die Speicherkosten auf 10-20 €/kWh_{th} ab, sind 12-15 Stunden Speicher optimal (Tamme 2006). Damit kann dann praktisch ein nahezu 24-Stunden Betrieb garantiert werden. CSP stellt somit zukünftig eine regenerative Alternative zu konventionellen Stromerzeugungstechnologien sowohl für Grund- und Spitzenlast als auch zum Ausgleich eines schwankenden Angebotes aus Wind und Photovoltaik dar. Laut des aktuellen Branchenreports Photovoltaik der Landesbank Baden-Württemberg, der neben PV auch CSP analysiert, wird die 24h-Grundlastfähigkeit von CSP in Zukunft von solch hoher Bedeutung für die Energieversorger sein, dass sie bereits heute dafür einen Aufschlag gegenüber dem Preis von Windstrom zu zahlen bereit seien (LBBW 2009:51).

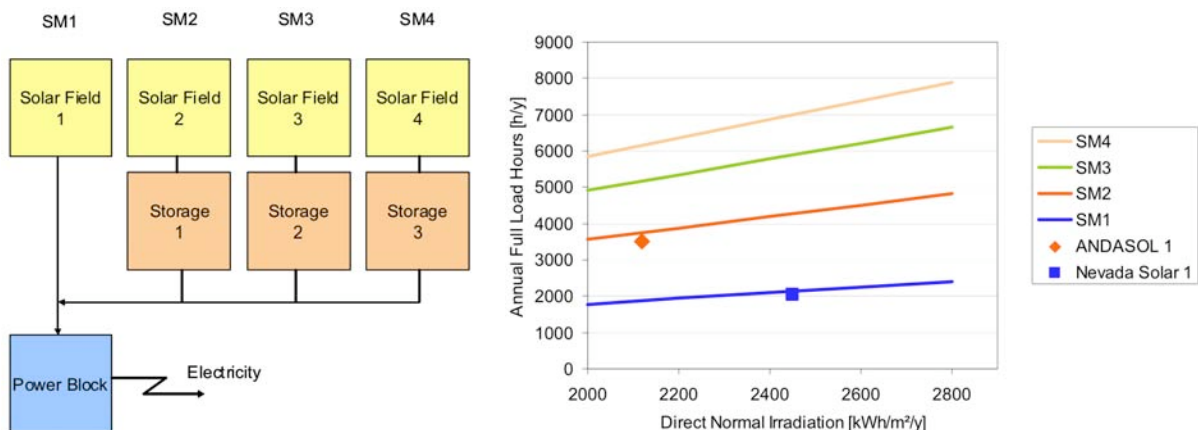


Abb. 2-4: Zusammenhang von thermischen Speichern, zusätzlichen Solarfeldern und erzielbaren jährlichen Volllaststunden im Kraftwerksbetrieb

Quelle: Trieb et al. 2009

Die Speicherefähigkeit eines solarthermischen Kraftwerks wird über die Konstante der Solar Multipliken (SM) definiert (Trieb et al. 2009). Ein Kraftwerk ohne Speicher hat ein Solarfeld so groß, um die Nennleistung des Kraftwerks zu garantieren (SM = 1). Damit können jedoch – je nach Einstrahlungsverhältnissen – nur 1.800-2.200 Volllaststunden pro Jahr erreicht werden. Mit jedem zusätzlichen Solarfeld kann ein Vielfaches hiervon erzeugt und in einem

thermischen Speicher zwischengespeichert werden. Ein Kraftwerk mit einer Solar Multiplen von 3 hat somit drei Solarfelder, wovon zwei zunächst nur für den Speicher produzieren, insgesamt jedoch 5.400 - 6.600 Volllaststunden pro Jahr ermöglichen. Abb. 2-4 zeigt die je nach Sonneneinstrahlung erreichbaren Volllaststunden bei verschiedenen Solar Multiplen sowie die Einordnung der beiden neuesten Kraftwerke, Andasol 1 und Nevada Solar One, in dieses Konzept.

2.1.5 Zusammenfassung

Zum Abschluss dieses Kapitels fasst Tab. 2-1 die wichtigsten Parameter der oben beschriebenen CSP-Technologiepfade zusammen.

Tab. 2-1: Wichtige Parameter verschiedener CSP-Technologien im Vergleich

Technologie	Betriebstemperatur	elektr. Wirkungs- grad (netto)	Entwicklungsstatus	Kapazitäten in Betrieb
	°C	%		MW _{el}
Parabolrinnen/ Fresnel	260-400	9-14	Frühe Kommerzialisierung / Demo	570,4
Solarturm	500-1.000	13-18	Demonstration	32,5
Dish-Stirling	500-1.200	15-24	Demonstration	0,2

Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 2-5 bildet die thermischen Wirkungsgrade („solar-to-steam“) der verschiedenen Technologien ab. Sie zeigt, dass Turm und Dish ein erheblich höheres Potenzial als die Parabolrinne haben, da sie mit höheren Dampftemperaturen gefahren werden können.

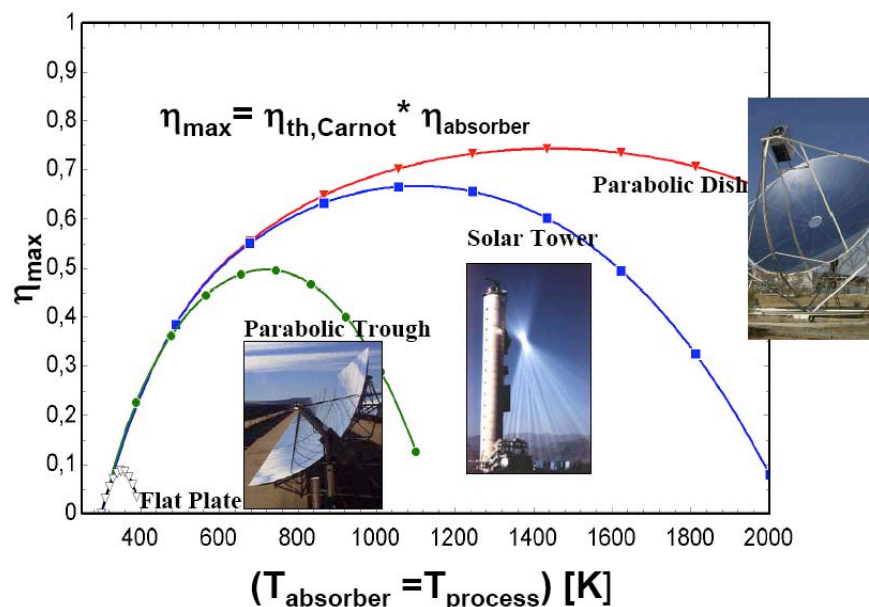


Abb. 2-5: Vergleich der Solarwirkungsgrade verschiedener CSP-Technologien

Quelle: Hoffschmidt 2009

2.2 Internationale und deutsche CSP-Initiativen

Der weltweite Ausbau der CSP-Technologie wird international und in Deutschland von politischer Seite und verschiedenen Initiativen vorangetrieben. Auf internationaler Ebene sind die DESERTEC-Initiative und der Solarplan der Mittelmeerunion von besonderer Bedeutung. In Deutschland konzentrieren sich die Bemühungen der Bundesregierung insbesondere auf die Erforschung und Entwicklung der Technologie. Die genannten Aktivitäten werden nachfolgend in knapper Form beschrieben.

DESERTEC-Stiftung

Die DESERTEC Foundation ist auf Initiative der Deutschen Gesellschaft Club of Rome und der 2003 gegründeten Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation (TREC), einem weltweiten Netzwerk von Wissenschaftlern, Politikern und Unternehmern, entstanden. Die Stiftung wurde Anfang 2009 in Berlin gegründet und verfolgt das Ziel, die Lebensgrundlagen der Menschheit durch eine nachhaltige, entwicklungs- und friedensfördernde Form der Energiegewinnung sicherzustellen (DESERTEC Foundation 2009).

Kernpunkt der Stiftungsarbeit ist das schon seit einigen Jahren von der TREC-Initiative verfolgte DESERTEC-Konzept. Dieses beschreibt bis zum Jahr 2050 eine Perspektive zur nachhaltigen Stromversorgung der EUMENA-Region bis zum Jahr 2050, die Europa, den Nahen Osten und Länder Nordafrikas umfasst. Hierbei wird Strom aus verschiedenen erneuerbaren Energiequellen in ein Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetz (HGÜ) im EUMENA-Raum eingespeist und verteilt. Das angestrebte Desertec-Verbundnetz ist in Abb. 2-6 illustriert. Das Konzept basiert auf Ergebnissen wissenschaftlicher Studien des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

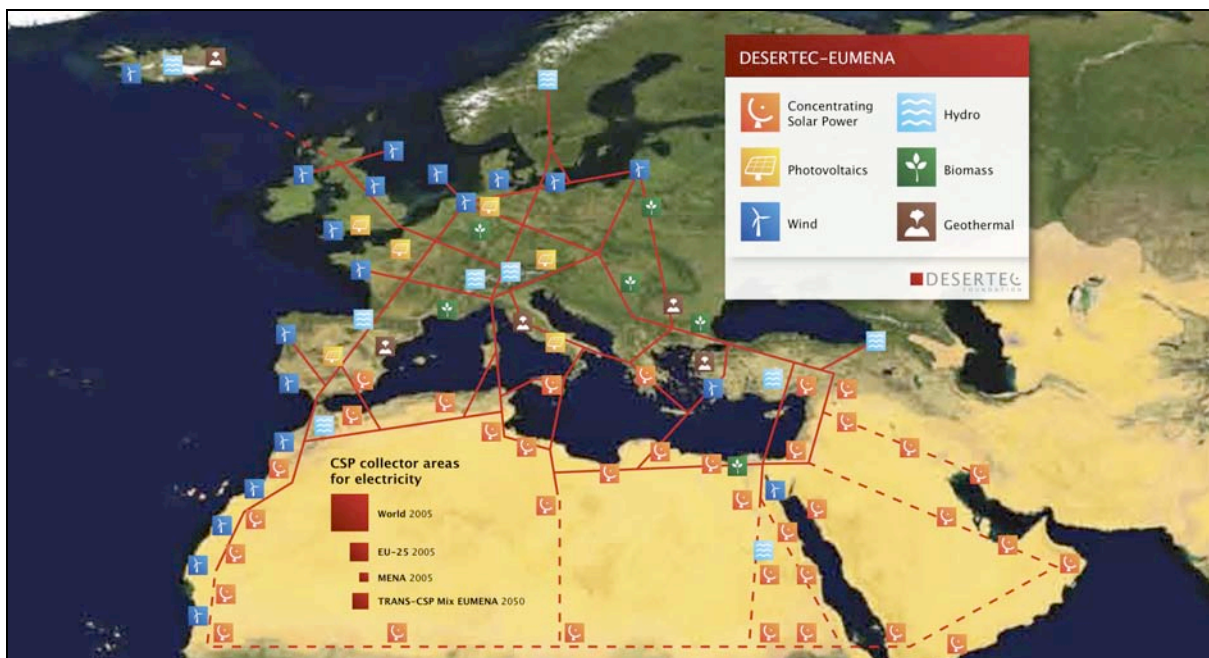


Abb. 2-6: EUMENA-Verbundnetz

Quelle: Desertec Foundation 2009

Ein Schwerpunkt des DESERTEC-Konzepts ist die Stromerzeugung in solarthermischen Kraftwerken. Es wird angestrebt, dass in 40 Jahren in den Wüstengebieten der Erde solar-

thermische Kraftwerke sowie andere Technologien (z.B. Windkraftanlagen und konzentrierende Photovoltaik) etwa die Hälfte des dann anfallenden weltweiten Strombedarfs wirtschaftlich befriedigen. Hierfür müssten laut DESERTEC 0,3% der weltweiten Wüstenflächen mit Kollektoren solarthermischer Kraftwerke bebaut werden.

Für die Deckung von 50% des globalen Strombedarfs (von etwa 50.000 TWh) aus regenerativen Energiequellen bis zum Jahr 2050 propagiert die DESERTEC-Stiftung einen „Climate Emergency Plan“ zur Verbreitung von CSP-Kraftwerken, der folgende Schritte vorsieht (Knies 2009):

- „2010-2015: Markteinführung von CSP-Technologien mit Hilfe politischer Anreize wie Einspeisevergütungen oder Investitionshilfen für Kraftwerke oder für Produktionsanlagen für Kollektoren.
- 2016-2035: Ausweitung der Produktion von Kollektoren für CSP-Kraftwerke auf eine Gesamtkapazität von ca. 600 GW pro Jahr
- 2031-2050: Massiver Ausbau von CSP-Kraftwerken mit einem täglichen Zubau von etwa 1,5 GW Kollektorkapazitäten. Dies entspräche einem weltweiten Investitionsvolumen von etwa 3 Milliarden € pro Tag“.

Solarplan der Union für das Mittelmeer

Die intensive Lobbyarbeit von DESERTEC für eine verstärkte Nutzung von solarthermischen Kraftwerken hat zur Entstehung des Solarplans der Union für das Mittelmeer beigetragen. Die Mitte 2008 gegründete Union für das Mittelmeer (43 Mitgliedsstaaten, EU und Mittelmeerranrainer) verfolgt sechs inhaltliche Schwerpunkte. Hierzu zählt neben anderen Vorhaben, wie z.B. die Säuberung des Mittelmeers oder einem Mittelstandsprogramm, der *Solarplan*. Dessen Ziel ist es, bis zum Jahr 2020 im südlichen Mittelmeerraum 20 GW Kraftwerkskapazität auf Basis erneuerbarer Energien zu schaffen. Dieses Vorhaben ist nicht nur auf Solarenergie beschränkt, sondern beinhaltet auch andere erneuerbare Energiequellen wie Windenergie. Gleichzeitig sollen HGÜ-Leitungen für die Übertragung des Stroms nach Europa ausgebaut werden.

Bis 2011 soll ein Masterplan inklusive einer Machbarkeitsstudie formuliert werden, der inhaltliche Handlungsanweisungen für die Erreichung der Ziele beinhaltet. Der Masterplan soll dazu beitragen, den Export von „grünem“ Strom nach Europa zu etablieren und stimulierende Rahmenbedingungen für Investitionen und eine nachhaltige Entwicklung zu schaffen. Gleichzeitig sollen 20-30 „bankable“ Kraftwerksprojekte auf den Weg gebracht werden. Es ist jedoch fraglich, ob die avisierten Ziele erreicht werden können, da die Umsetzung des Solarplans von aktuellen politischen Rahmenbedingungen beeinflusst wird. Derzeit stagnieren die offiziellen Aktivitäten aufgrund des Nahostkonflikts (Christmann 2009a).

Aktivitäten der deutschen Bundesregierung

Bei der Aushandlung der Mittelmeerunion war die Initiative der deutschen Bundesregierung maßgeblich dafür verantwortlich, dass der Ausbau von CSP-Kraftwerken zu einem wesentlichen Bestandteil des Plans wurde. Bereits seit 1976 fördert die Bundesregierung die Forschung im Bereich CSP (siehe Abb. 2-7). Einen Höhepunkt erreichten die Aufwendungen 1979 mit 22 Mill. €. Bis einschließlich 1984 blieben die Förderungen im zweistelligen Millionenbereich. In den Jahren 2005-2008 wurden durchschnittlich 6 Mill. € pro Jahr für CSP auf-

gewendet. Dies entspricht etwa 7% der Gesamtförderung (86 Mill. € pro Jahr) für erneuerbare Energien.

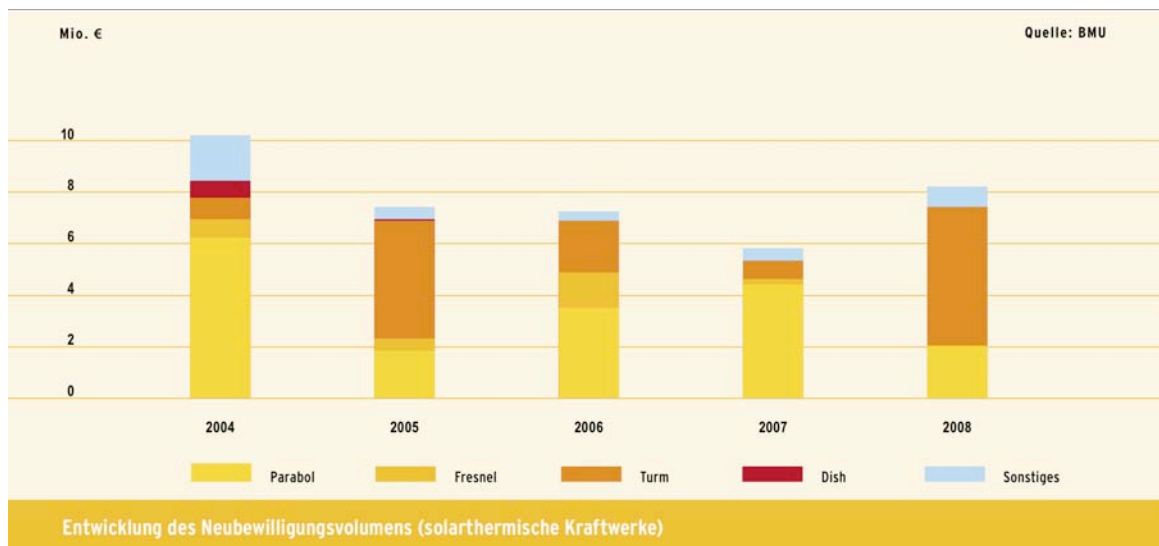


Abb. 2-7: Förderung von FuE-Vorhaben für CSP durch das Bundesumweltministerium

Quelle: Christmann 2009b

Die staatliche Förderung der CSP-Technologie hat mehrere Ziele. Einerseits sollen deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die im Bereich solarthermische Kraftwerke tätig sind, ihre bereits erlangte Führungsposition erhalten und ausbauen. Auf diese Weise soll ihre Teilnahme am expandierenden Weltmarkt gesichert werden kann. Des Weiteren soll langfristig mittels Solarstromimporten aus Nordafrika die Energieversorgungssicherheit Deutschlands sichergestellt und ein Beitrag zur Klimagasreduzierung geleistet werden.

Schwerpunkt der Förderung sind Turmkraftwerke, insbesondere das neu errichtete Solarturmkraftwerk in Jülich, und Parabolrinnenkraftwerke. Jedoch erhielten auch Aktivitäten zur Entwicklung der Fresneltechnologie finanzielle Unterstützung, wie z.B. der Bau einer Testanlage in Europas größtem europäischen Testzentrum für CSP-Technologie, der Plataforma Solar in Almería, Spanien.

2.3 Existierende und geplante CSP-Kraftwerke weltweit

Der Ausbau der CSP-Technologie hat in den vergangenen Jahren signifikant an Dynamik zugelegt (siehe Abb. 2-8). Derzeit befinden sich Anlagen mit einer Gesamtkapazität von etwa 604 MW_{el} in Betrieb, von denen 569 MW_{el} Parabolrinnenkraftwerke sind¹. Die anderen CSP-Technologiepfade stellen mit 32,5 MW_{el} (Solarturm) bzw. 1,4 MW (Fresnel) lediglich kleine Anteile. Mit einer installierten Leistung von rund 419 MW_{el} befindet sich die Mehrheit der derzeit operierenden CSP-Erzeugungskapazitäten in den USA (siehe oben). Es folgt Spanien mit 183 MW_{el} Erzeugungskapazität. Die Mehrheit der existierenden Kraftwerke wurde Mitte der 1980er oder Anfang der 1990er Jahre errichtet. Der damalige Ausbau der CSP-Technologie wurde beschleunigt durch den Ölpreisschock Ende der 1970er Jahre und einem daraus resultierenden Anstieg der Strompreise. Als kurz darauf die Strompreise fielen, wurden man-

¹ Die Zahlen ergeben sich aus einer Auswertung von DLR (2009) und eigenen Recherchen.

gels Wettbewerbsfähigkeit und politischer Anreize keine weiteren CSP-Kraftwerke gebaut. Erst ab dem Jahr 2006 wurden aufgrund der zunehmenden Bedeutung erneuerbarer Energien und finanzieller Anreize zu deren Förderung neue CSP-Kraftwerke in Betrieb genommen.

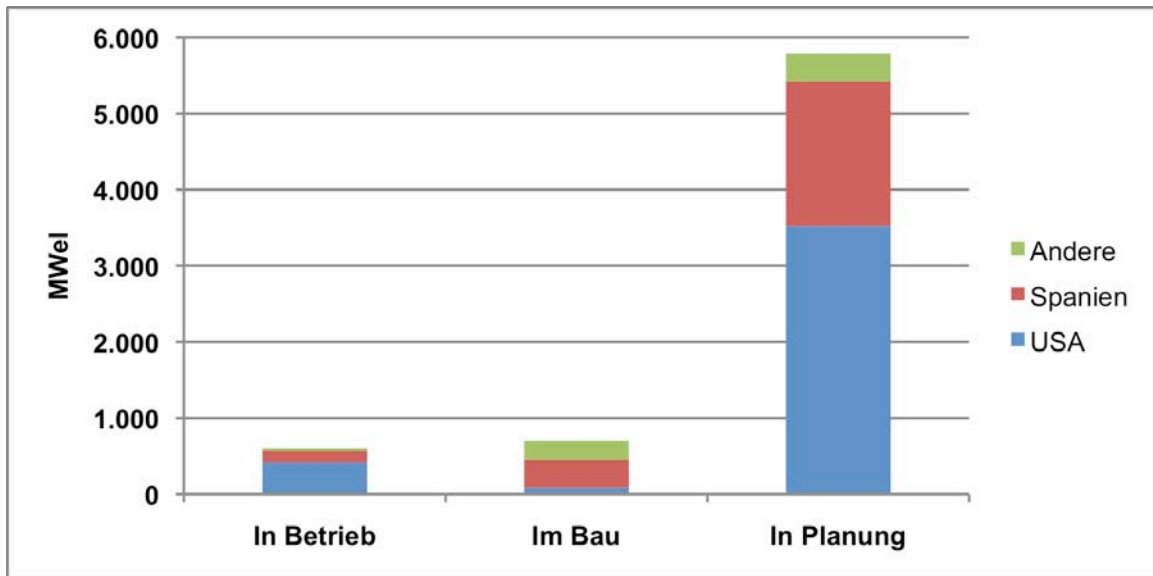


Abb. 2-8: CSP-Kraftwerke weltweit, sortiert nach Ländern

Quelle: Eigene Darstellung

Bei den im Bau befindlichen und angekündigten Anlagen verschiebt sich die Balance zu Gunsten Spaniens. Von insgesamt 761 MW_{el}, die derzeit errichtet werden, befinden sich rund 365 MW_{el} in Spanien und ca. 82 MW_{el} in den USA. In Ägypten, Algerien und Marokko sind ISCC-Anlagen mit CSP-Kapazitäten von jeweils 20-25 MW_{el} im Bau und in Israel wird derzeit ein 250 MW_{el}-Parabolrinnenkraftwerk errichtet. Die Parabolrinnentechnologie bleibt aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Marktreife der meist genutzte Technologiepfad. Abb. 2-9 gibt einen Übersicht über weltweit bestehende, in Bau befindliche und geplante CSP-Kraftwerke sortiert nach Technologiepfaden.

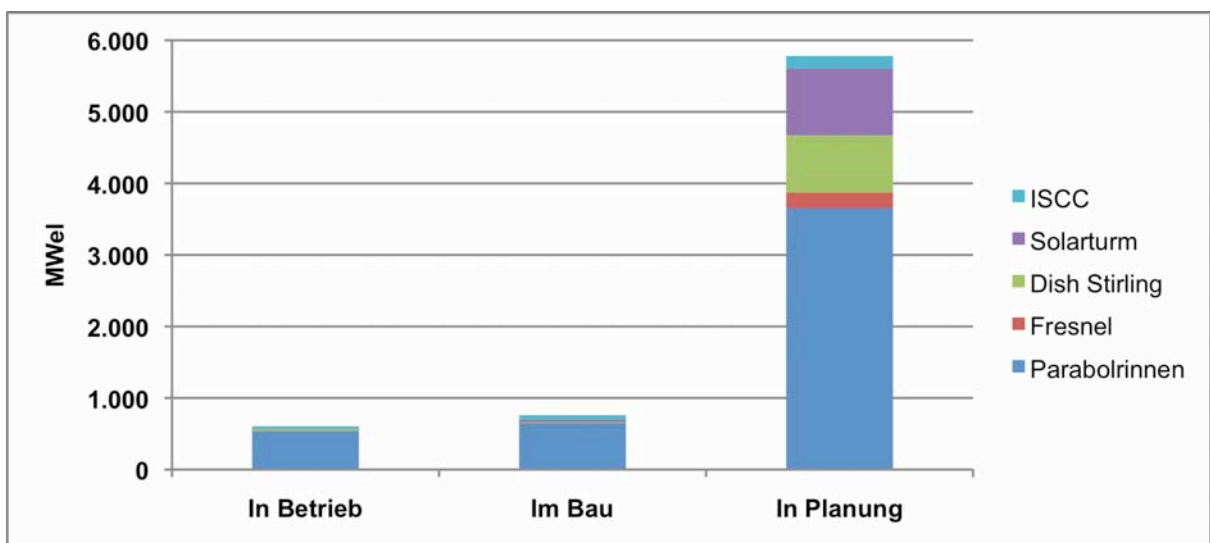


Abb. 2-9 CSP-Kraftwerke weltweit, sortiert nach Technologiepfaden

Quelle: Eigene Darstellung

Aktuell befinden sich rund 5.780 MW_{el} CSP-Erzeugungskapazität in der Planung. Diese Angabe erhebt jedoch aufgrund der schnellen Entwicklung des CSP-Marktes und ständig neuer Projektankündigungen keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Bei den geplanten Kapazitäten handelt es sich zu 63% um Parabolrinnenkraftwerke. Im Gegensatz zu aktuellen *Bauprojekten* liegen die USA bei der Gesamtleistung *angekündigter CSP-Vorhaben* vor Spanien. Auf die USA entfällt insgesamt ein Anteil von rund 3.520 MW_{el}, in Spanien wurden etwa 1.900 MW_{el} angekündigt. Die avisierte Erzeugungskapazität in Spanien teilt sich auf eine deutliche höhere Zahl an Anlagen auf (42) als in den USA (17), da von der spanischen Regierung lediglich solarthermische Kraftwerke mit einer Kapazität von bis zu 50 MW_{el} durch Einspeisevergütungen gefördert werden. In den USA wird der Bau von CSP-Kraftwerken durch eine Steuervergünstigung für Investitionen (Investment Tax Credits) in Höhe von 30% gefördert. Im Oktober 2008 wurde die Vergünstigung durch den *Emergency Economic Stabilization Act* (H.R. 1424) um acht Jahre verlängert.

3 Aktivitäten und Marktstellung deutscher Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette

Deutsche Unternehmen haben bei der Konzeption, der Planung und dem Bau von CSP-Kraftwerken weltweit eine prominente Stellung inne. In diesem Abschnitt werden zentrale ökonomische Kennwerte und die Aktivitäten der wichtigsten deutschen Marktakteure auf den Gebieten Engineering, Komponentenzulieferung sowie Realisierung von CSP-Kraftwerken in knapper Form zusammengefasst. Der Bereich Forschung und Entwicklung (FuE), in dem insbesondere Institutionen wie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), das Solarinstitut Jülich (SIJ) der Fachhochschule Aachen und das Fraunhofer ISE aktiv sind, wird hierbei nicht betrachtet. Jedoch besteht aufgrund teils intensiver Kooperationen zwischen den Industrieunternehmen und den genannten Forschungseinrichtungen eine enge Verknüpfung zwischen dem FuE-Sektor und den industriellen Marktakteuren. Auch der Finanzsektor zeigt seit einiger Zeit Interesse an der CSP-Technologie. So ist die Münchener Rückversicherung derzeit zum Beispiel dabei, Aktivitäten auf dem Gebiet CSP zu prüfen. Tab. 3-1 fasst die in den folgenden Kapiteln erläuterten wichtigsten ökonomischen Kennzahlen deutscher Unternehmen im Bereich CSP zusammen.

3.1 Engineering und Services

Schlaich Bergermann Partner

Schlaich Bergermann Partner (SBP) ist ein 1980 in Nachfolge des Büros Leonhardt gegründetes Ingenieurbüro, das am Entwurf, der Ausführungsplanung sowie der Fertigungs- und Montageüberwachung von CSP-Anlagen mitwirkt. Das Unternehmen beschäftigt insgesamt ca. 90 Mitarbeiter; seine Haupttätigkeitsfelder sind der Entwurf und die Konstruktion anspruchsvoller Ingenieurbauten wie weitgespannte leichte Dachtragwerke, vielfältige Brücken und schlanke Türme. Neben seinem Hauptsitz in Stuttgart verfügt es über eine Niederlassung in den USA.

Das Unternehmen ist bzw. war an der Entwicklung und Planung von Parabolrinnenanlagen in Spanien (Andasol I, II), Ägypten (Kuraymat) und den USA (SKAL-ET) beteiligt. Innerhalb verschiedener Projekten, wie z.B. der SKAL-ET-Anlage, hat SBP Rahmenverträge mit der Flagsol GmbH abgeschlossen. In Zusammenarbeit mit Flagsol sowie anderen europäischen Partnern hat SBP auch an der Entwicklung der Parabolrinnentechnologie EuroTrough mitgewirkt. Neben Parabolrinnenkraftwerken war SBP an der Entwicklung mehrerer Dish-Stirling-Kleinanlagen beteiligt. Durch die beschriebenen Tätigkeiten ist SBP ein auf dem Markt etablierter Akteur.

Fichtner Solar

Fichtner Solar ist ein Tochterunternehmen der Fichtner-Gruppe und wurde 1999 gegründet. Das Unternehmen ist seit mehr als 25 Jahren in die Konzeption und Planung von CSP-Anlagen involviert und verfügt über ein weit verzweigtes internationales Netzwerk an CSP-Experten in Wissenschaft und Industrie. Die Fichtner-Gruppe unterhält weltweit mehr als 70 Niederlassungen und 26 Beteiligungsgesellschaften, die ggf. für CSP-Projekte aktiviert werden könnten. Bis heute war das Unternehmen am Engineering von CSP-Projekten mit einem Investitionsvolumen von insgesamt 5 Mrd. € beteiligt. Davon befinden sich vier Anlagen mit

einem Wert von 1,2 Mrd. € gegenwärtig im Bau (Fichtner Solar 2009). Zu den wichtigsten Projekten zählen Engineering-Leistungen für ISCC-Hybrid-Kraftwerke in Ägypten (150 MW_{el} Gesamtkapazität), Indien (140 MW_{el} Gesamtkapazität) und Marokko (200-250 MW_{el} Gesamtkapazität), die von der Global Environment Facility (GEF) finanzielle Unterstützung erhalten. Aufgrund seiner langjährigen Erfahrung bei der Planung von CSP-Anlagen ist Fichtner Solar eines der weltweit führenden Engineering Consulting-Unternehmen für solarthermische Kraftwerke.

CSP Services

CSP Services (CSPS) ist eine Ausgründung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt zur Vermarktung von dessen Know-how, Equipment und Analysetools für die Qualifizierung von Spiegelfertigung. Das Leistungsspektrum von CSPS umfasst u.a. die Qualitätskontrolle für CSP-Solarfelder, die Optimierung des thermischen Outputs von Solarfeldern sowie die Analyse von Prototypen. Das Team des Unternehmens besteht aus insgesamt 14 Mitarbeitern, wovon zehn in Spanien auf dem DLR-Testgelände „Plataforma Solar de Almeria“ und vier in Köln angesiedelt sind. Diese sind gleichzeitig Mitarbeiter des DLR. Basierend auf einer langfristigen Kooperationsvereinbarung mit dem DLR kann CSP Services das Know-how und Equipment bzw. Software des Instituts nutzen und profitiert von dessen langjähriger Erfahrung und Expertise auf dem Gebiet CSP. Aufgrund seiner Versuchsanlagen in Köln sowie einem permanenten Zugang zur Plataforma Solar de Almeria, Europas größtem Testzentrum für konzentrierende Solartechnologie, ist das DLR eine der weltweit führenden Einrichtungen auf dem Gebiet der Solarthermie.

3.2 Komponentenzulieferer

Schott Solar AG

Die Schott Solar AG ist eine 100%ige Tochtergesellschaft der Schott AG – einem Hersteller von Spezialglas, Spezialwerkstoffen und Komponenten. Alle Solaraktivitäten der Schott AG sind unter dem Dach der Schott Solar AG gebündelt. Diese umfassen die Herstellung von Photovoltaikmodulen und der Receiver-Technologie für Parabolrinnenkraftwerken. Nachdem Schott zunächst Spezialglasröhren für die Receiverummantelung produziert hat, entwickelte das Unternehmen einen neuen Receivertyp, der seit 2006 in Mitterteich serienmäßig produziert wird. In den vergangenen Jahren wurde das Unternehmen zu einem der führenden Anbieter für Receiver-Technologie weltweit. Die Technologie wird u.a. in den Parabolrinnenkraftwerken Andasol I (Spanien) und Nevada Solar One (USA) eingesetzt. Aufträge für alle CSP-Schlüsselmärkte, wie die USA, Südeuropa und der Nahe Osten, wurden abgeschlossen, so dass die Unternehmensleitung mit einem signifikanten Umsatzzuwachs für das laufende Geschäftsjahr rechnet. Im Geschäftsjahr 2007/2008 generierte Schott Solar etwa 13% des Gesamtumsatzes der Schott AG (Schott AG 2008).

In den vergangenen Jahren hat Schott Solar seine internationale Marktposition durch die Eröffnung neuer Standorte zur Produktion von Receivern gestärkt. Im Jahr 2008 wurde mit dem Aufbau neuer Produktionsstandorte in Albuquerque, New Mexico, und Sevilla, Spanien begonnen. Die Standorte in Deutschland und Spanien verfügten im Jahr 2008 über eine Produktionskapazität für Receiver von rund 400 MW pro Jahr. Im Jahr 2009 soll die Kapazität auf 1 GW steigen (Schott Solar 2008). Bei der Durchführung von Aufträgen kann Schott

Solar überdies auf ein weit verzweigtes weltweites Netz aus 45 Niederlassungen der Schott AG in 41 Ländern zurückgreifen.

Flagsol GmbH

Seit 2005 ist die Flagsol GmbH eine 100%ige Tochter der Solar Millennium AG. Innerhalb von Solar Millennium ist das Unternehmen für die Entwicklung und Lieferung von Schlüsselkomponenten für Parabolrinnenkraftwerke zuständig. Im Falle des Kuraymat-Kraftwerks (ISCC) in Ägypten zählen hierzu u.a. die Lieferung der Parabolspiegel, der Absorberrohre und der Solarfeldsteuerung. Als Technologiegeber ist Flagsol begleitend in der Bauphase und beim Kraftwerksbetrieb tätig. Im Bereich Technologieentwicklung hat Flagsol eine neue Kollektorgeneration namens „HelioTrough“ für Parabolrinnenkraftwerke entwickelt, die größer, im Aufbau kostengünstiger und effizienter als bisherige Kollektoren ist (Solar Millennium AG 2008). Die Firma hat ihren Hauptsitz in Köln, unterhält jedoch wie das Mutterunternehmen Solar Millennium eine Niederlassung in Berkeley, USA, zur Erschließung des dortigen Marktes. Mit insgesamt 41 Mitarbeitern ist Flagsol zwar ein kleines Unternehmen, jedoch profitiert es wie Solar Millennium von der globalen Aufstellung sowie der langjährigen Expertise und Erfahrung im Bau großtechnischer Anlagen des MAN Ferrostaal-Konzerns. Flagsol war bzw. ist an der Planung und dem Bau der spanischen Kraftwerke Andasol I, II und III sowie von drei Hybrdkraftwerken in Ägypten, Indien und Mexiko beteiligt. Alle Projekte werden von der GEF gefördert, die Umsetzung der beiden letztgenannten Anlagen ist jedoch unsicher. Außerdem partizipiert Flagsol an einem 52 MW_{el}-Parabolrinnenkraftwerk, das unter der Projektleitung von Solar Millennium mit griechischen und europäischen Industriepartnern auf der Insel Kreta gebaut werden soll. Schwierigkeiten bei der Akquirierung eines geeigneten Anlagenstandorts sowie unsichere politische Rahmenbedingungen haben die Realisierung des Projekts jedoch verzögert.

Solar Power Group

Die Solar Power Group (SPG) befindet sich zu 43% im Besitz der MAN Ferrostaal und vertreibt ein lineares Fresnel-Kollektormodell. Die Technologie der SPG wurde in Kooperation mit Schott Solar, dem DLR und dem Fraunhofer-Institut ISE in einer 1,4 MW_{el}-Demonstrationsanlage in Spanien getestet. Im Jahr 2007 hat SPG eine strategische Kooperationsvereinbarung mit dem libyschen Center for Solar Research und MAN Ferrostaal unterzeichnet, die die Realisierung von 3 GW solarthermischer Erzeugungskapazitäten vorsieht (Solar Power Group 2007). SPG ist ein kleiner Marktakteur mit begrenzten finanziellen und personellen Kapazitäten. Wie Flagsol und Solar Millennium profitiert das Unternehmen jedoch von der internationalen Positionierung des MAN Ferrostaal-Konzerns.

Flabeg Holding GmbH

Die Flabeg Holding GmbH war bis zum Jahr 2000 im Besitz des Glasherstellers Pilkington. 2008 ist die Mehrheit der Anteile an den schwedischen Finanzinvestor Industri Kapital übergegangen. Flabeg produziert seit den 1970er Jahren hoch präzise Solar Reflectors für solarthermische Kraftwerke. Überdies leistet das Unternehmen die Befestigung der Panels und verfügt über Systeme, um deren Qualität zu kontrollieren. Beginnend mit den in den 1980er Jahren errichteten SEGS-Kraftwerken in den USA, hat Flabeg für praktisch alle existierenden und im Bau befindlichen Parabolrinnenkraftwerke die Spiegel geliefert. Dies summiert sich zu einer Gesamtkapazität von 1,3 GW (Flabeg 2009). Gegenwärtig ist Flabeg insbesondere

bemüht seine Position auf dem U.S.-Markt zu festigen. Im Juni 2008 hat Flabeg 100% der Aktienanteile der U.S.-amerikanischen Glas- und Spiegelherstellers Naugatuck Glass (Connecticut) übernommen. Im Oktober 2008 hat das Unternehmen mit dem Bau seiner ersten Solarspiegelfabrik in Pennsylvania begonnen. Erste Lieferungen sind für November 2009 vorgesehen. Die jährliche Produktionskapazität des Werkes umfasst eine Millionen Parabolspiegel, 700.000 Stück sind bereits bestellt (Flabeg 2008). Die langjährigen Umsetzungserfahrungen bei existierenden Parabolrinnenkraftwerken und Flabegs hoher Spezialisierungsgrad machen das Unternehmen zum führenden Zulieferer für Solar Reflectors.

Siemens AG

Das Thema solarthermische Kraftwerke wird innerhalb des Siemens-Konzerns von dem Segment „Siemens Energy“ und darin durch das Geschäftsfeld „Renewable Energy“ bearbeitet. Im Jahr 2008 generierte die Sparte „Renewable Energy“ einen Umsatz von 2,1 Mrd. €, was einem Anteil von 9% am Umsatz des Energiesegments bzw. 3% am Umsatz des Siemens-Konzerns insgesamt entsprach (Siemens AG 2008). Mit der Turbine SST-700 DRH (Dual-Casing Reheat) bietet Siemens ein Dampfturbinenmodell an, das in CSP-Kraftwerken mit einer Kapazität von bis zu 175 MW_{el} eingesetzt werden kann. Die Turbine wurde in Kooperation mit CSP-Anlagenbauern hinsichtlich der speziellen Anforderungen solarthermischer Kraftwerke optimiert. Sie weist eine kurze Start-up-Zeit auf und ist daher für eine flexible Fahrweise der Kraftwerke geeignet. Bis September 2008 hat Siemens mehr als 40 Bestellungen für Dampfturbinen für solarthermische Kraftwerke erhalten. 38 der geplanten Kraftwerke befinden sich in Spanien, drei in den USA und jeweils eines in Algerien und Ägypten (Siemens AG 2008).

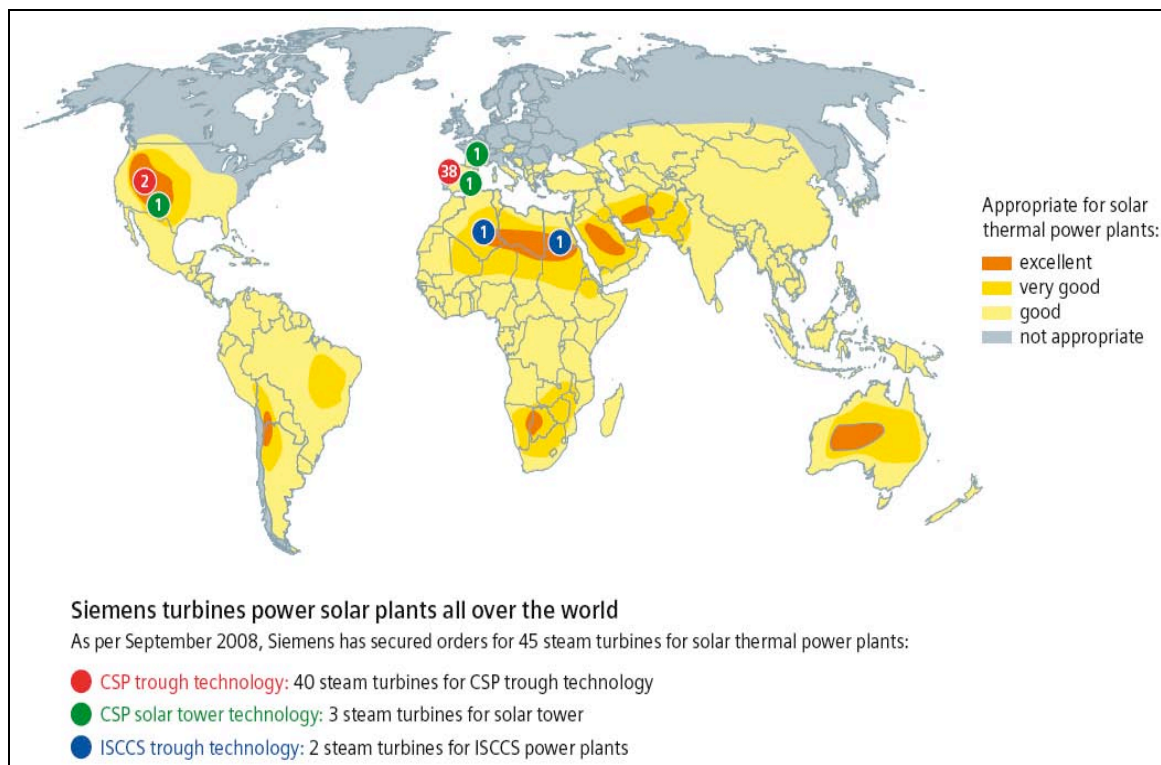


Abb. 3-1: Geographische Verteilung von Bestellungen für Siemens-Dampfturbinen für CSP-Kraftwerke

Quelle: Siemens AG 2008

Durch seine große Erfahrung bei der Entwicklung und dem Vertrieb von Turbinen für Gas- und Dampfprozesse verfügt Siemens über große Expertise, die auch für CSP-Anlagen von Nutzen ist. Allerdings sind die Kapazitäten des Konzerns für die Konzeption und Produktion von Turbinen für solarthermische Kraftwerke gegenwärtig begrenzt, so dass die Lieferzeiten bei zwei bis drei Jahren liegen (Utz 2009). Es ist daher fraglich, ob das Unternehmen einer infolge eines globalen CSP-Ausbaus steigenden Nachfrage gerecht werden kann. Das Unternehmen beabsichtigt jedoch, in den kommenden Jahren seine Produktionskapazitäten zu erhöhen und auf diese Weise die Lieferzeiten zu verkürzen (Utz 2009). Neben der Turbinenherstellung ist Siemens dabei, sein Know-how auf andere Bereiche solarthermischer Kraftwerke auszuweiten. Im Frühjahr 2009 hat Siemens Energy 28% der Anteil an dem italienischen Solarunternehmen Archimede Solar Energy SpA (ASA), das Receiver entwickelt und herstellt, erworben (Power Engineering International 2009).

Züblin AG

Die Züblin AG ist ein Bauunternehmen, dessen Tätigkeiten sich in vier Segmente – Schlüsselfertigbau, Ingenieur- und Spezialtiefbau, Dienstleistungen, Entwickeln und Betreiben und Werke – aufteilen lassen. Bezüglich solarthermischer Kraftwerke ist Züblin an der Entwicklung von Betonspeichern für thermische Energie beteiligt. Das Thema Energiespeicherung für CSP-Kraftwerke ist dem Segment Ingenieurbau zugeordnet und wird gegenwärtig von einem Team mit fünf bis sechs Mitarbeitern bearbeitet. Da der Geschäftsbereich sich noch im Aufbau befindet, sind die personellen Kapazitäten begrenzt. Jedoch verfügt Züblin über ein Netzwerk internationaler Niederlassungen (u.a. in Spanien und im arabischen Raum), die ggf. für die Akquise und Durchführung von CSP-Projekten aktiviert werden könnten.

Ziel des Unternehmens ist es, in den kommenden Jahren Zugang zum Markt für CSP-Kraftwerke zu erreichen. Gegenwärtig befindet sich die Speichertechnologie noch in einem Teststadium. Umsetzungserfahrungen aus großtechnischen Referenzprojekten liegen folglich noch nicht vor. In den vergangenen Jahren war Züblin in Kooperation mit dem DLR an einem Projekt zur Entwicklung einer Feststoffspeichertechnologie für den Einsatz in den Andasol-Kraftwerken beteiligt (Laing et al. 2009). Aktuell arbeitet Züblin am Aufbau eines Pilotmoduls für die Betonspeicherung in Spanien, das ein System für die solare Direktverdampfung beinhaltet. Aufträge für konkrete Projekte für den Bau von Feststoffspeichern für solarthermische Kraftwerke stehen kurz vor der Unterzeichnung.

Senior Berghöfer

Senior Berghöfer ist seit 1994 Teil der britischen Senior plc-Gruppe. Innerhalb der Senior plc-Gruppe sind Berghöfers Aktivitäten auf dem Gebiet solarthermische Kraftwerken dem Segment „Flexonics“ zugeordnet. Im Jahr 2008 zeichnet die Solar-Sparte für ca. 11% der Einkünfte von Flexonics verantwortlich (Senior plc 2008). Senior Berghöfer entwickelt und produziert seit den 1980er Jahren flexible Rohrverbindungen und Metallbälge für CSP-Kraftwerke. Metallbälge werden u.a. in Receivern zur Verbindung der einzelnen Receiver-elemente eingesetzt. Die Produkte können für alle CSP-Technologiepfade genutzt werden. Senior Berghöfer hat u.a. Komponenten an die US-amerikanischen SEGS-Kraftwerke in den 1980er und 1990er Jahren sowie die Andasol-Kraftwerke in Spanien geliefert.

Linde

Die Linde AG ist ein Konzern mit weltumspannenden Aktivitäten insbesondere auf dem Gebiet Gasttechnologien. Die Schweizer Linde-Tochter Bertrams Heatec gehört zu den weltweit führenden Unternehmen bei der Planung und dem Bau von Salzschnmelze-Systemen zur Wärmeübertragung. Neben solarthermischen Kraftwerken können diese Systeme auch bei der Produktion von Kunstharz (Melamin) und Aluminiumoxid eingesetzt werden. In diesen Bereichen weist die Bertrams Heatec mehr als 60 Jahre Erfahrung auf (Frick 2008).

3.3 Realisierung von CSP-Kraftwerken

MAN Ferrostaal

MAN Ferrostaals Geschäftsbereich „Solar Power“ setzt sich aus den beiden Tochterunternehmen MAN Solar Millennium GmbH und Solar Power Group GmbH zusammen. MAN Solar Millennium plant und realisiert vorrangig Parabolrinnenkraftwerke, während die Solar Power Group auf Fresnel-Anlagen spezialisiert ist. Das Segment „Solar Power“ ist ein eher kleiner Geschäftsbereich der MAN Ferrostaal. Im Geschäftsjahr 2007/2008 beschäftigte MAN Solar Millennium 24 Mitarbeiter bei mehr als 4.800 Mitarbeitern der MAN Ferrostaal Gruppe insgesamt (MAN Ferrostaal 2008). Derzeit hält MAN Ferrostaal 50% der Anteile an MAN Solar Millennium. Die übrigen Anteile sind im Besitz der Solar Millennium AG (siehe unten). MAN Ferrostaals Anteile an der Solar Power Group wurden im Mai 2009 von ursprünglich 25% auf 43% erhöht. Der Vorstand begründete diese Entscheidung mit dem großen Potential der Fresnel-Technologie sowie dem zunehmenden Einfluss der Klimapolitik auf den Energiesektor (Ökonews 2009).

Bei der Umsetzung von CSP-Kraftwerken fungiert MAN Ferrostaal als Generalunternehmer und beteiligt sich an Projektentwicklung, Projektmanagement sowie dem Betrieb der Anlagen. Dabei unterhält das Unternehmen Kooperationen zu Komponentenzulieferern wie z.B. Flagsol (Parabolrinnenkraftwerke) und verfügt über langjährige Erfahrungen bei der Auslegung von Turbinenprozessen. MAN Ferrostaal ist in über 60 Ländern durch Tochtergesellschaften oder Niederlassungen vertreten, die teilweise seit mehreren Jahrzehnten existieren und sehr gut in der jeweiligen Region verankert sind. Das Unternehmen weist demnach ein hohes Maß an internationaler Vernetzung auf. CSP-Referenzprojekte des Unternehmens sind die Parabolrinnenkraftwerke Andasol I und II in Spanien, die jeweils Kapazitäten von 50 MW_{el} aufweisen. Der Bau von Andasol III befindet sich in Vorbereitung.

Solar Millennium AG

Die Solar Millennium AG ist 1999 aus der ein Jahr zuvor gegründeten Solar Century Management GmbH hervorgegangen. Das Unternehmen ist im Bereich erneuerbarer Energien global tätig und entlang der Wertschöpfungskette solarthermischer Kraftwerke auf allen wichtigen Geschäftsfeldern, wie Engineering, Finanzierung sowie dem Bau und Betrieb der Anlagen, aktiv. Es ist in fünf Segmente gegliedert, die jeweils mehrere Tochterunternehmen umfassen. Für die Entwicklung und Auslegung von Solarfeldern mit Parabolrinnenkollektoren ist die 100%ige Tochter Flagsol verantwortlich. Der Bereich Kraftwerksbau wird von MAN Solar Millennium (Deutschland) und der US-amerikanischen Tochtergesellschaft MAN Solar Millennium LLC abgedeckt. Letztere soll insbesondere Projekte im Südwesten der USA akquirieren und hat dort bereits Landflächen für den Bau von insgesamt 5.000 MW CSP-

Erzeugungskapazität erworben. Aktuell rechnet der Vorstand für die USA mit Projekten mit einer Gesamtleistung von 250-500 MW. Des Weiteren hält Solar Millennium Beteiligungen an Projektentwicklungsgesellschaften in Spanien und China und ist an Ausschreibungen in Abu Dhabi und Israel beteiligt. In Spanien hat das Unternehmen die ersten Parabolrinnen-Kraftwerke Europas, Andasol I und II, entwickelt und auf diese Weise ein gutes Netzwerk bei Ministerien und Kommunen aufgebaut (Solar Millennium 2008). Solar Millennium ist dort an mehreren geplanten Projekten beteiligt. Im Vergleich zu Spanien und den USA befinden sich die Aktivitäten des Unternehmens in China in einem frühen Stadium. Ziel ist es, dort eine Kraftwerksleistung von 1.000 MW zu realisieren.

Gemessen an der großen geographischen Fächerung der Unternehmenstätigkeiten, verfügt Solar Millennium mit weltweit 114 Mitarbeitern über begrenzte personelle Kapazitäten. Hier-von stellen beispielsweise Projektentwicklungsgesellschaften in den Zielregionen lediglich 23 Mitarbeiter. Überdies ist das Unternehmen im Geschäftsjahr 2007/2008 wegen Verzögerungen bei Anteilsverkäufen an Kraftwerks- und Projektgesellschaften mit einem Umsatz von 32 Mill. € deutlich hinter dem angepeilten Ziel von 80 Mill. € zurückgeblieben (Solar Millennium 2008). Es ist jedoch anzunehmen, dass personelle und finanzielle Engpässe zumindest teilweise durch die enge Kooperation von Solar Millennium mit MAN Ferrostaal abgedeckt werden könnten.

Kraftanlagen München GmbH

Kraftanlagen München (KAM) plant und baut komplette Anlagen für die Energieerzeugung und -verteilung sowie für die chemische Industrie. Das Unternehmen wurde vor ca. 50 Jahren gegründet und beschäftigt insgesamt ca. 2.300 Mitarbeiter. Größte Anteilseigner sind mit jeweils 31% die Schweizer Energie Ovest Suisse (EOS) Holding sowie das Konsortium Schweizer Minderheiten. EOS ist eine Strategieholding mit den Schwerpunkten Stromerzeugung, Übertragung, Handel und Vermarktung in der Schweiz und im Ausland. Das Konsortium Schweizer Minderheiten besteht aus Elektra Birseck Münchenstein (EBM), Elektra Basel-land Liesethal, Kanton Solothurn (KtSO), Industrielle Betriebe Aarau (IBA), Aziende Industriali di Lugao (AIL) und Wasserwerke Zug AG (WWZ). CSP-Aktivitäten der KAM werden durch das Segment „Energie- und Umwelttechnik“ abgedeckt, das auch andere Themen wie Fernwärmesysteme und konventionelle Gas- und Dampfprozesse umfasst. Innerhalb des Bereichs Energie- und Umwelttechnik stellen solarthermische Kraftwerke neben Biomasse-heizkraftwerken und Reststoffverwertung den strategischen Fokus des Geschäftsfeldes „Er-neuerbare Energien“ dar.

Aufgrund seiner breiteren thematischen Ausrichtung sowie der geringeren Zahl an Referenzprojekten im Vergleich zu Solar Millennium ist KAMs Erfahrung auf dem Gebiet CSP als niedriger einzustufen. Im Gegensatz zu Solar Millennium konzentrieren sich KAMs Aktivitäten jedoch auf die Solarturmtechnologie, zu der weltweit weitaus weniger Umsetzungserfahrung und Expertise existiert als für die Parabolrinnentechnologie. Aktuell ist KAM als Generalunternehmer am Bau eines Solarturmkraftwerks in Jülich mit einer Kapazität von 1,5 MW_{el} beteiligt. Die Realisierung und der Betrieb der Anlage könnte für KAM zu einer wichtigen Referenz werden. Gegenwärtig ist KAM an einer Machbarkeitsstudie für ein Solarturmkraftwerk mit einer Kapazität von 5-10 MW_{el} in Algerien beteiligt. Weitere Projektbeteiligungen in der MENA-Region werden angestrebt.

Novatec Biosol AG

Die Ingenieursfirma Novatec Biosol AG wurde 2005 gegründet und befindet sich seit 2007 mehrheitlich im Besitz des australischen Infrastrukturunternehmens Transfields Holdings, welches Infrastrukturprojekte durchführt. Novatec Biosol produziert und vertreibt die Kollektortechnologie Nova-1, der das lineare Fresnel-Prinzip zugrunde liegt. Das Unternehmen liefert fertige Kollektorsysteme und bietet Unterstützung bei der Integration des Solarfeldes. Novatec verfügt über ein voll automatisiertes System für die Produktion von Komponenten für das Solarfeld, das deren Fertigung in der Nähe des jeweiligen Anlagenstandortes ermöglichen soll. Im April 2007 wurde die erste Produktionslinie für Solarfeldkomponenten mit einer jährlichen Produktionskapazität von 25 MW_{el} in Spanien in Betrieb genommen. Im Jahr 2009 soll die Produktionskapazität in Spanien auf 110 MW_{el} pro Jahr ausgebaut werden. Im März 2009 wurde das Demonstrationskraftwerk Puerto Errado (PE-1), das die Nova-1-Technologie verwendet, in Betrieb genommen. Die Anlage hat eine Kapazität von 1,4 MW_{el} und befindet sich in Murcia, Süds Spanien. Der Bau eines 30 MW_{el}-Kraftwerks in Süds Spanien sowie weiterer Solarkraftwerke sollen folgen. Mit insgesamt 50 Mitarbeitern, davon 30 in Deutschland und 20 im Ausland, ist Novatec Biosol ein kleiner Marktakteur mit begrenzten personellen Kapazitäten. Im Gegensatz zu Unternehmen wie MAN Ferrostaal oder Solar Millennium verfügt das Unternehmen nicht über ein etabliertes und weit verzweigtes Netzwerk an Auslandsniederlassungen.

3.4 Finanzierung von CSP-Kraftwerken

Die Münchner Rück hat Mitte Juni 2009 angekündigt, ein Industriekonsortium zu gründen, mit dem mittels eines ambitionierten Planes der Solarthermie zum Durchbruch verhelfen soll. Laut Vorstandsmitglied Jeworrek wäre es denkbar, 15 Prozent der europäischen Stromversorgung mittels CSP sicherzustellen. Hierfür sollen durch das Konsortium unter Führung der Münchner Rück 400 Milliarden Euro investiert werden. Auch Finanzinstitute wie die Deutsche Bank zeigen Interesse an dieser Initiative, die am 13. Juli 2009 gegründet werden wird (Süddeutsche Zeitung 2009).

Tab. 3-1: Übersicht deutscher Akteure im Geschäftsfeld CSP

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Deutsche/ Internationale Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projektbeteiligungen	Produktionskapazität/Ziele
I. Engineering und Services								
Fichtner Solar	1999 von Georg Brakmann mit Fichtner GmbH & Co KG gegründet Fichtner-Gruppe verfügt über 26 Beteiligungsgesellschaften weltweit	Energie/ Regenerative Energie	Hauptsitz: Stuttgart International (Fichtner-Gruppe gesamt): Mehr als 70 Niederlassungen und Projektbüros und 26 Beteiligungsgesellschaften in über 50 Ländern. Dazu zählen Ländern im Sonnen-gürtel wie Abu Dhabi, Jemen, Ghana, Marokko und Spanien. Enge Zusammenarbeit mit lokalen Partnern vor Ort	Fichtner-Gruppe gesamt: Ca. 139 Mill. € Zahlen für Fichtner Solar nicht öffentlich verfügbar	Fichtner Gruppe gesamt (weltweit): 1.600 Fichtner Deutschland: 500 Zahlen für Fichtner Solar nicht öffentlich verfügbar	Seit mehr als 25 Jahren Konzeption und Planung von CSP-Anlagen sowie Bau- und Montageüberwachung	Bestehende/ abgeschlossene Projekte: <i>Marokko:</i> Engineering Consulting für Hybrid-Kraftwerk (200-250 MW _{el}) <i>Ägypten:</i> Engineering Consulting für Hybrid-Kraftwerk (150 MW _{el}) <i>Indien:</i> Engineering Consulting für Hybrid-Kraftwerk (140 MW _{el}) <i>USA:</i> Projektentwicklung für Solar Rankine-Kraftwerk (250 MW _{el})	Vision von Fichtner Solar: 40 GW CSP-Erzeugungskapazitäten bis 2025
Schlaich Bergermann Partner	1980 von Jörg Schlaich und Rudolf Bergermann gegründet Abschluss von Rahmenverträgen mit der Flagsol GmbH für die Projekte SKAL-ET und ANDA-NT für fünf bzw. zehn Jahre. Verträge sichern Flagsol die Nutzungsrechte am Know-how und Schutzrechten sowie die Erbringung von	Geschäftsbereich „Solarenergie“	Hauptsitz: Stuttgart Deutschland: Niederlassung in Stuttgart International: Niederlassung in den USA	Keine öffentlichen Zahlen verfügbar	Schlaich Bergermann gesamt: Ca. 90	Entwicklung des EuroTrough-Kollektors (in Kooperation mit Flagsol); Engineering von CSP-Projekten (sowohl Parabol-rinnenanlagen und Dish Stirling)	Bestehende/ abgeschlossene Projekte: <i>Spanien:</i> Andasol I, II; Entwurf und Ausführungsplanung <i>Ägypten:</i> Hybrid-Kraftwerk in Kuraymat; Entwurf, Ausführungsplanung, Ausschreibung, Fertigungs- und Montageüberwachung (in Kooperation mit Flagsol) <i>USA:</i> SKAL-ET-	Alle CSP-Technologie werden verfolgt bis diese ihre volle Marktreife erzielt haben.

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Deutsche/ Internationale Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projektbeteiligungen	Produktionskapazität/Ziele
	Ingenieurleistungen für Parabolrinnenanlagen.						Parabolrinnenanlage; Entwurf, Ausschreibung, Fertigungs- und Montageüberwachung 10 kW Dish Stirling-Anlagen in Spanien, USA, Deutschland und an weiteren Standorten	
CSP Services (CSPS)	Ausgründung des DLR; Kooperationsvertrag mit DLR	Alle	Hauptsitz: Köln International: Zugang zu Testzentrum in Spanien	Keine öffentlichen Zahlen verfügbar	CSPS gesamt: 14 <i>Auslandsanteil:</i> 10	Qualifizierung von Spiegelfeldern, Qualitätskontrolle, Optimierung des thermischen Outputs von solarthermischen Kraftwerken	Große Erfahrung durch Kooperation mit DLR	Keine Angaben
II. Komponentenzulieferer								
Schott Solar AG	Anteilseigner: 100% Schott AG; Hauptsitz: Mainz Seit 2005 100%ige Tochter von Schott AG (zu 100% im Besitz der Carl-Zeiss-Stiftg.)	Alle Solaraktivitäten der Schott AG sind unter dem Dach der Schott Solar AG gebündelt	Hauptsitz: Mainz Standorte zur Receiver-Produktion: Mitterteich (Deutschland) Albuquerque (USA) Aznalcóllar (Spanien) 41 Niederlassungen der Schott AG weltweit	Schott AG gesamt: 07/08: 2,2 Mrd. € 06/07: 2,1 Mrd. € <i>Auslandsanteil:</i> Ca. 75% Schott Solar: 06/07: 283 Mill. € 07/08: 482 Mill. € <i>Auslandsanteil:</i> 07/08: 44%; 06/07: 37%	Schott AG gesamt (weltweit): 17.363 Schott Solar (weltweit): 1.650	Receiver für Parabolrinnenkraftwerke	Entwicklung und Vertrieb von Receivern seit 1980er Jahren Fertigung von Receivern für Andasol I (Spanien) und Nevada Solar One (USA); Aufträge für alle wichtigen Regionen (USA, Naher Osten, Südeuropa); auf Basis abgeschlossener Verträge wird für 08/09 erheblicher Umsatzzuwachs	Deutliche Erhöhung der Fertigungskapazitäten zur Umsetzung der Aufträge ist geplant; Werk in Spanien (Sevilla) wird erweitert; Aufbau neuer Fertigung in Albuquerque (USA), Produktionsstart im Frühjahr 2009; gesamte Ferti-

Aktivitäten und Marktstellung deutscher Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Deutsche/ Internationale Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projektbeteiligungen	Produktionskapazität/Ziele
							erwartet	gungskapazität bei Receivern: 400 MW; Ziel: Ausbau der Kapazität auf 1 GW bis Ende 2009
Flagsol GmbH	Seit 2005 zu 100% im Besitz von Solar Millennium	Alle	Hauptsitz: Köln, Deutschland International: Niederlassung Flagsol LLC in Berkeley (USA)	07/08: 18,9 Mill. € 06/07: 7,6 Mill. € Zuwachs entfällt hauptsächlich auf Engineering-Leistungen und Schlüsselkomponenten für Kraftwerksprojekte	08: 41 07: 24	Technologiegeber für Parabolrinnen, technische Planung und Bauüberwachung des Solarfelds, Lieferung der Solarfeld-Steuerung, Begleitung von Kraftwerksbau und -betrieb	Beitrag zur Realisierung der weltweit ersten Parabolrinnen-Kraftwerke in Kalifornien in den 1980er Jahren Bestehende/ abgeschlossene Projekte: Andasol I, II, III Hybrid-Anlage in Kuryamat (Ägypten), 140-160 MW _{el} Geplante Projekte: Hybrid-Anlage in Mathania (Indien) Hybrid-Anlage in Baja California Norte (Mexiko) Parabolrinnen-Anlage in Griechenland (52 MW _{el})	Siehe Solar Millennium AG
Flabeg Holding GmbH	Im Jahr 2000 aus dem Verkauf des Unternehmenssegments des Pilkington-Konzerns hervorgegangen. Anteilseigner:	Solar Mirrors	Hauptsitz: Nürnberg International: Produktionswerke für Solarspiegel in den USA und Deutsch-	07: Ca. 187 Mill. € 08/09: 172,1 Mill. € (vorläufig)	Flabeg gesamt (weltweit): 07: 1.900 Flabeg Solar: 09: 220	Seit den 1970er Jahre Entwicklung und Vertrieb von Parabolspiegeln für Hochtemperatur-Solarthermie	Bestehende/ abgeschlossene Projekte: Flabeg hat für praktisch alle bestehenden und im Bau befindlichen Parabolrinnen-kraftwerke die Spiegel	Keine Angaben

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Deutsche/ Internationale Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projektbeteiligungen	Produktionskapazität/Ziele
	Seit 2008 ist der schwedische Finanzinvestor Industri Kapital größter Anteilseigner		land. Das Werk in den USA hat 2008 die Produktion aufgenommen. Außerdem Niederlassungen für „Automotive Mirrors“ in den USA, Brasilien, China, Frankreich, Italien, Tschechien und England.		(direkt); 86 (indirekt)		geliefert. Dies entspricht einer Gesamtkapazität von: <i>Spanien</i> : 850 MW <i>Ägypten</i> : 25 MW <i>USA</i> : 419 MW	
Solar Power Group GmbH	Anteilseigner: 43% der Anteile werden von MAN Ferrostaal gehalten.	Alle	Hauptsitz: Essen	Keine öffentlichen Zahlen verfügbar	Keine öffentlichen Zahlen verfügbar	Entwicklung und Vertrieb von Fresnel-Technologie	Bestehende Projekte: Bau und Betrieb einer Fresnel-Demonstrationsanlage (1,4 MW _{el}) in Spanien	Keine Angaben
Siemens AG	Internationaler Technologiekonzern mit einer Vielzahl von Tochtergesellschaften Siemens hält seit Frühjahr 2009 28% der Anteile an dem italienischen Solarunternehmen Archimede Solar Energy SpA (ASA), das Receiver-technologie anbietet	Siemens Energy / „Renewable Energy“	Siemens ist in nahezu 190 Regionen der Welt verankert mit besonderen Schwerpunkten in Europa und Nordamerika	Siemens AG gesamt (weltweit): 08: 77,3 Mrd. € 07: 72,4 Mrd. € Auslandsanteil: 08: 64,5 Mrd. € 07: 59,9 Mrd. € Anteil Segment „Energy“: 08: 22,6 Mrd. € 07: 19,9 Mrd. € Anteil Segment „Renewable Energy“: 08: 2,1 Mrd. €	Siemens AG gesamt: 08: 428.000 07: 398.000 Auslandsanteil: 08: 295.000 07: 295.000	Turbinen für Dampf- oder Gas- und Dampfprozesse in CSP-Anlagen mit Kapazitäten bis zu 175 MW Durch die Beteiligung an ASA wurde Know-how auf die Receiver-technologie ausgeweitet	Bestehende Projekte: Turbinen für Andasol I und II sowie Nevada Solar One wurden bereits geliefert Geplante Projekte: In den vergangenen Jahren hat Siemens Bestellungen (abzüglich der oben genannten Anlagen) Aufträge für 45 Dampfturbinen für CSP-Kraftwerke erhalten. Die Mehrzahl der Anlagen waren Parabolrinnenkraftwerke	Durch umfangreiche Investitionen in Kapazitäten für Forschung, Entwicklung und Produktion soll die Weltmarktposition kontinuierlich gestärkt werden.

Aktivitäten und Marktstellung deutscher Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Deutsche/ Internationale Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projektbeteiligungen	Produktionskapazität/Ziele
Senior Berghöfer	Seit 1994 Teil der „Senior plc Group“ mit Sitz in England	Senior Berghöfer ist innerhalb der Senior plc group für CSP zuständig; CSP ist dem Segment „Flexonics“ und darin dem Geschäftsfeld „Alternative Energien“ zugeordnet	Hauptsitz: Kassel International: Flexonics-Niederlassungen u.a. in Nordamerika (3), Europa (5), Indien, Südafrika und Brasilien	07: 1,4 Mrd. € Senior plc Group gesamt (Einkommen): 08: 585,6 Mill. € 07: 523,6 Mill. € Flexonics: 08: 278,3 Mill. € 07: 250,2 Mill. € Solar-Branche verantwortlich für 11% der Gesamteinkünfte von Flexonics	Senior plc Group (weltweit): 08: 5.822 07: 5.684	Senior Berghöfer entwickelt und produziert seit den 1980er Jahren Komponenten für CSP-Kraftwerke. Hierzu zählen z.B. Metallbälge und flexible Rohrverbindungen, z.B. für die Direktverdampfung	Bestehende/ abgeschlossene Projekte: Komponentenlieferungen an SEGS-Kraftwerke in den USA in 1980er und 1990er Jahren Komponentenlieferungen für Andasol-Projekte (Spanien) Beteiligung an FuE-Projekten zur Entwicklung einer flexiblen Rohrverbindung für die 500°C-Direktverdampfung	Keine Angaben
Züblin AG	Züblin hat vier Segmente definiert: I. Schlüsselfertigbau, II. Ingenieur- und Spezialtiefbau, III. Dienstleistungen, Entwickeln und Betreiben, IV. Werke	Ingenieurbau	Hauptsitz: Stuttgart Ca. 35 weitere Standorte in Deutschland International: 21 Niederlassungen in Europa 15 weitere Niederlassungen weltweit (u.a. in MENA-Region, China, Australien)	Züblin AG gesamt: 06: 1,6 Mrd. € 05: 1,4 Mrd. €	Züblin AG gesamt: 07: 14.719 06: 10.032 <i>Auslandsanteil:</i> 07: 7.793 06: 4.031 Mitarbeiter im Bereich „Energie-	Züblin ist seit mehreren Jahren an Untersuchungen und der Entwicklung von Technologien zur wirtschaftlichen Speicherung von Energie beteiligt. Hierzu zählen Speichersysteme (v.a. Betonspeicher und solare Direktverdampfung) für	Bestehende/ abgeschlossene FuE-Projekte: <i>WANDA-Verbundvorhaben:</i> Pre-kommerzielle Entwicklung der WES-PE Feststoff-Speichertechnologie für den Einsatz in Andasol-Kraftwerken; Verbundprojekt mit dem Deutschen Institut für Luft-	Etablierung als Akteur auf dem CSP-Markt. Zielformulierung hängt vom Erfolg geplanter Projekte ab.

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Deutsche/ Interna- tionale Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits- schwerpunkte	Projektbeteiligungen	Produktions- kapazität/Ziele
					speicher- ung“: 09: 5-6	CSP-Kraftwerke.	und Raumfahrt, wurde 2006 abgeschlossen <i>ITES-Projekt:</i> Aufbau eines Spei- chermoduls mit solarer Direkt-verdampfung in Spanien Geplante Projekte: Aufträge für den Bau von Speichern für mehrere CSP- Kraftwerke stehen kurz vor Unterzeichnung	
Linde AG	Übernahme der Bert- rams Heatec AG durch Linde im Jahr 2007	Bertrams Heatec AG	Hauptsitz Linde AG: München Hauptsitz Bertrams Heatec AG: Pratteln (Schweiz) Niederlassungen Bertrams: U.a. Nie- derlassungen in Europa, Asien und USA	Umsatz Linde gesamt: 08: 12,7 Mrd. €	Linde gesamt (weltweit): 08: 51.908	Entwicklung und Bau von Salz- schmelzen- Systemen zur Wär- meübertragung	Bestehende Projekte: Auftrag zur Planung eines 50 MW _e -Parabol- rinnenkraftwerks in Spanien	Keine Angaben
III. Realisierung von CSP-Kraftwerken								
MAN Ferro- staal	Anteilseigner: 70% International Petroleum Investment Company (Abu Dhabi);	2 Ventures bilden das Segment Solar Power: MAN Solar	Hauptsitz: Essen International: Vertretungen in über	MAN Ferrostaal gesamt (welt- weit): 08: 1,6 Mrd. €	MAN Ferro- staal gesamt (weltweit): 08: 4.845	Generalunterneh- mer für CSP- Anlagen (Parabol- rinnen, Fresnel,	Strategie: Fokus auf drei Kernre- gionen – MENA, USA und Südeuropa	Ziel: Weltmarktführer- schaft bei Entwick- lung und Bau von

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Deutsche/ Internationale Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projektbeteiligungen	Produktions-kapazität/Ziele
	30% MAN AG (Deutschland)	Millennium GmbH (50% Anteil von MAN Ferrostaal; 50% von Solar Millennium AG) Solar Power Group GmbH (43% Anteil MAN Ferrostaal) Technologie-partner Fresnel: Solar Power Group Technologie-partner Parabol-rinnen: Flagsol	60 Ländern; viele Tochtergesellschaften oder Büros sind schon seit 30-50 Jahren vor Ort verankert	07: 1,4 Mrd. € <i>Auslandsanteil:</i> 08: 1,4 Mrd. € 07: 1,2 Mrd. € 85% Prozent der Aufträge im Ausland (davon 51% Lateinamerika, 9% MENA-Region; 7% EU/ohne Dtl.)	07: 4.687 <i>Auslands-anteil:</i> 08: 2.193 07: 1.946 <i>Davon MAN Solar Millenium GmbH:</i> 07/08: 24 06/07: 13	Dish, ISCC, Entsalzung) Triple-Value Strategie: Projektentwicklung, Projektmanagement, Beteiligung an Betreiber-gesellschaften Bau von Parabolrinnen- und Fresnelanlagen in Kooperation mit Partner Solar Millennium AG bzw. Solar Power Group	Projektbeteiligungen: <i>Parabolrinnenanlagen:</i> Entwicklung und Umsetzung von Andasol I, II, III (Spanien) Vorbereitende Arbeiten für Andasol III haben begonnen <i>Fresnelanlagen:</i> Betrieb einer Demonstrationsanlage (Spanien) durch Solar Power Group	CSP-Kraftwerken
Solar Millennium AG	Unternehmen ist in fünf Segmente gegliedert, die jeweils mehrere Tochter unternehmen umfassen: <i>I. Technologie:</i> 100% Flagsol (Parabolrinnen); 100% Smagsol GmbH (Aufwind-KWs); 76% Blue Tower GmbH (regenerative Reststoffverwertung) <i>II. Regionale Projektentwicklung:</i> S. internat. Standorte <i>III. Projekte:</i>	Alle	Hauptsitz: Erlangen, Deutschland Solar Millennium hält Beteiligungen an Projektentwicklungsgesellschaften in drei Ländern: Spanien (100% Milenio Solar Desarrollo de Proyectos; 40% Capital Millennium Energy S.L.), USA Solar Millennium LLC (100%), China (50% Inner Mongolia STP Devel-	Solar Millennium gesamt: 07/08: 32 Mill. € 06/07: 31,1 Mill. € Der Großteil des Umsatzes wurde durch Aufträge für Andasol I, II, III (Spanien) und CSP-Hybrid-Kraftwerk in Kuraymat (Ägypten) in den Geschäftsfeldern Projektentwicklung und Technologie	Solar Millennium Gruppe gesamt 07/08: 114; 06/07: 73 <i>Anteilig:</i> <i>Solar Millennium AG:</i> 07/08: 26 06/07: 21 <i>Technologie-gesellschaften:</i> 07/08: 41 06/07: 21 <i>Regionale</i>	Kernkompetenzen Solar Millennium: Projektentwicklung und –finanzierung Weitere Produkte (von Tochterunternehmen angeboten): <i>Technologie:</i> Flagsol, Blue Tower GmbH <i>Kraftwerksbau:</i> MAN Solar Millennium (Parabolrinnentechnologie und andere Komponenten; Solarfeldsteuerung; Qualitätskon-	Solar Millennium gehörte zu den ersten Unternehmen, die in Spanien im Bereich CSP aktiv wurde und ist daher bei Kommunen und Ministerien angesehen. Bestehende/ abgeschlossene Projekte: Andasol I, II, III Beteiligung über Flagsol an Hybrid-Kraftwerk in Kuraymat (Ägypten) Geplante Projekte: <i>Spanien:</i> Beteiligung an zweistelliger Zahl an Projekten	Ziel: Verstärkte Verankerung auf internationalen Schlüsselmärkten, insbesondere den USA

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Deutsche/ Internationale Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projektbeteiligungen	Produktions-kapazität/Ziele
	<p>Beteiligungen an Projekten in Spanien (7) und Griechenland (1)</p> <p><i>IV. Beteiligungen:</i> 5 Tochtergesellschaften</p> <p><i>V. Kraftwerksbau:</i> 50% MAN Solar Millennium (Deutschland) 100% Solar Millennium LLC (USA)</p>		opment Co. Ltd.)	erzielt.	<p><i>Projektentwicklungs-gesellschaften:</i> 07/08: 23 06/07: 15 <i>MAN Solar Millennium GmbH:</i> 07/08: 24 06/07: 13</p>	<p>trolle bei Kollektormontage)</p>	<p><i>USA:</i> Kauf von Landflächen für den Bau von Kapazitäten in Höhe von insgesamt 5.000 MW; Vorstand rechnet mit Projekten mit Gesamtleistung von 250-500 MW</p> <p><i>Australien:</i> forcierte Standortsuche</p> <p>Machbarkeitsstudien/ Ausschreibungen:</p> <p><i>Abu Dhabi</i> (Ausschreibung)</p> <p><i>Israel:</i> Präqualifikation für 2 Anlagen mit jeweils 125 MW</p> <p><i>China:</i> Abschluss Machbarkeitsstudie und konkretes Angebot an chinesische Regierung; Ziel: Realisierung von 1.000 MW Kraftwerksleistung</p>	
Kraftanlagen München (KAM) GmbH	<p>Anteilseigner:</p> <p>EDF Alpes Investissements Sàrl: 25%</p> <p>Energie Ouest Suisse Holding AG: 31%</p> <p>Konsortien Schweizer Minderheiten: 31%</p> <p>Diverse: 13%</p>	Geschäftsfeld „Energie- und Umwelttechnik	<p>Hauptsitz: München</p> <p>7 Niederlassungen Deutschland:</p> <p>Auslandsstandorte: Österreich, Belgien</p>	<p>KAM gesamt:</p> <p>08: 383 Mill. €</p> <p>07: 303 Mill. €</p> <p><i>Erneuerbare Energien:</i></p> <p>08: 38 Mill. €</p>	<p>KAM gesamt:</p> <p>08: 2.272</p> <p>07: 1.779</p> <p><i>Erneuerbare Energien:</i></p> <p>08: 52</p>	<p>Konzeption und Konstruktion von Komponenten, Fertigung von Prototypen</p>	<p>Bestehende/ abgeschlossene Projekte:</p> <p>Planung und Errichtung eines Solarturmkraftwerks (1,5 MW_{el}) in Jülich in Kooperation mit dem Solarinstitut Jülich (SIJ) der FH</p>	Entwicklung und Aufbau weiterer Solarturmanlagen

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Deutsche/ Internationale Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projektbeteiligungen	Produktionskapazität/Ziele
	<p>Tochterunternehmen der KAM:</p> <p>100% ECM Ingenieur-Unternehmen für Energie- und Umwelttechnik GmbH</p> <p>100% Caliqua Anlagentechnik GmbH (Österreich)</p> <p>100% Ingenieurbüro Kiefer & Voß GmbH</p> <p>100% FINOW Rohrsysteme GmbH</p> <p>100% Kraftanlagen Romania SRL (Rumänien)</p>						<p>Aachen und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR); Beteiligung an Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich solarthermische Kraftwerke, z.B. Entwicklung von Anlagenkonzepten zur Demonstration von Solarturmkraftwerken und Optimierung von Receivern und Absorbern</p> <p>Geplante Projekte:</p> <p>Machbarkeitsstudie für Solarturmkraftwerk in Algerien (5-10 MW_{el})</p> <p>Weitere Projekte in MENA-Region sind geplant</p>	
Novatec Biosol AG	<p>Im Jahr 2005 von deutschen Ingenieuren gegründet</p> <p>Anteilseigner:</p> <p>Seit 2007 hält Transfields Holdings (Australien) 54% der Anteile. Transfields</p> <p>Übrige Anteile werden von den Gründungsmitgliedern des Unter-</p>	Alle	<p>Hauptsitz: Karlsruhe</p> <p>International:</p> <p>Fertigungslinie in Spanien mit Produktionskapazität von 25 MW pro Jahr.</p> <p>Produktionskapazität soll auf 110 MW pro Jahr ausgebaut werden.</p>	Zahlen nicht öffentlich verfügbar	<p>Deutschland: 30</p> <p>Spanien: 20</p>	<p>Entwicklung und Produktion von Solar Steam Generator-Technologie auf Basis von Fresnel-Kollektorfeldern; Entwicklung eines Reinigungsroboters für Fresnelkollektoren</p>	<p>Bestehende Projekte:</p> <p>Engineering, Entwicklung und Realisierung des PE-1 Fresnel-Kraftwerks (1,4 MW_{el}) in Murcia (Spanien)</p> <p>Geplante Projekte:</p> <p>Baubeginn für 30 MW_{el}-Kraftwerk steht bevor.</p> <p>Für 2009 wird der Baubeginn von Projek-</p>	<p>Produktion und Bereitstellung von hocheffizienten und wirtschaftlichen Solarfeldern für vollständig integrierte solarthermische Kraftwerke und damit verbundene Verfahren.</p>

Ökonomische Chancen für die deutsche Industrie resultierend aus einer weltweiten Verbreitung von CSP

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Deutsche/ Interna- tionale Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits- schwerpunkte	Projektbeteiligungen	Produktions- kapazität/Ziele
	nehmens gehalten.						ten mit einer Gesamt- kapazität von 60 MW _{el} angestrebt.	

Quelle: Eigene Darstellung

4 Stellenwert deutscher Unternehmen im Bereich CSP im weltweiten Kontext

Dieses Kapitel beschreibt die wichtigsten internationalen Generalunternehmer bei der Umsetzung von CSP-Kraftwerken anhand ihrer Beteiligung an bestehenden, im Bau befindlichen und geplanten CSP-Kraftwerken (siehe Abb. 4-1). Bei den in Bau befindlichen und geplanten Anlagen sind insbesondere spanische Unternehmen wie Abengoa Solar, Solel, Aries und Iberdrola stark vertreten. Von den U.S.-amerikanischen Anbietern spielt BrightSource Energy eine prominente Rolle. Solar Millennium ist der wichtigste deutsche CSP-Generalunternehmer, spielt jedoch im Vergleich zu den genannten Unternehmen eine eher nachgeordnete Rolle. Es ist zu berücksichtigen, dass die Zulieferer einzelner Anlagenkomponenten nicht in dem Diagramm abgebildet sind. Hier liegt jedoch mit gut positionierten Anbietern wie Flabeg, Schott Solar oder Siemens eine Stärke der deutschen Industrie. Laut Kistner (2009) könnte die Beteiligung deutscher Unternehmen an der weltweiten Wertschöpfung auf dem Gebiet CSP deutlich erhöht werden, wenn die deutsche Industrie ihr Know-how mit Blick auf strategisch wichtige und umsatzstarke Komponenten, z.B. Turbinen oder Solarfeldtechnologien, ausbauen würde.

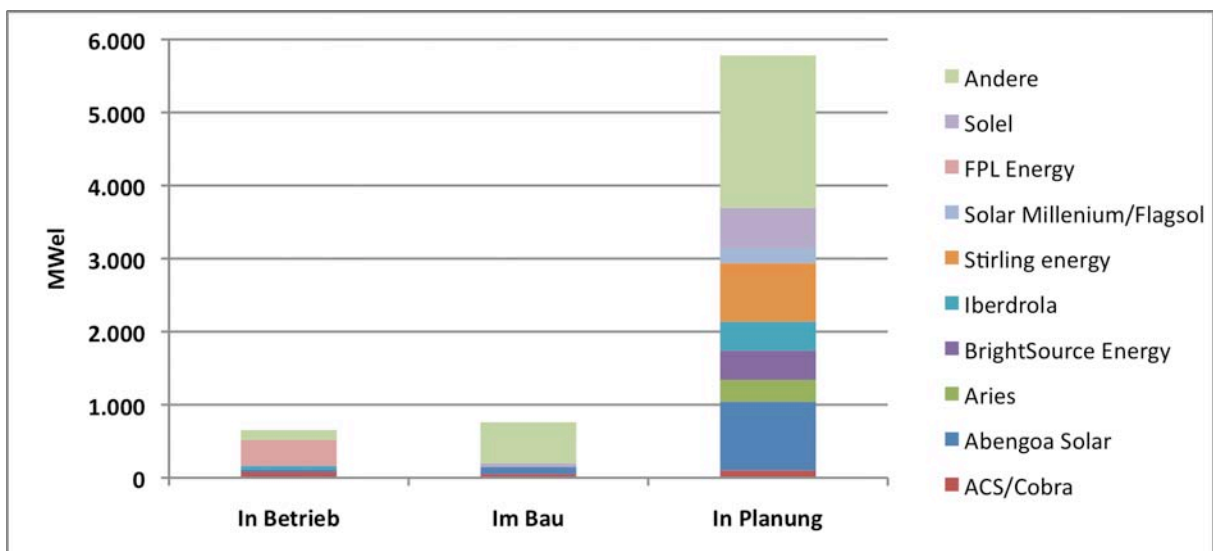


Abb. 4-1: CSP-Kraftwerke weltweit, sortiert nach durchführenden Unternehmen

Quelle: Eigene Darstellung

Nachfolgend werden die wichtigsten internationalen CSP-Marktakeure in knapper Form beschrieben. Tab. 4-1 fasst zentrale ökonomische Parameter der Unternehmen zusammen.

Abengoa Solar

Abengoa Solar ist Teil des spanischen Abengoa-Konzern und seit mehr als 20 Jahren auf dem Gebiet CSP tätig. Das Unternehmen plant, baut und betreibt CSP-Kraftwerke und zählt weltweit zu den Akteuren mit der größten Erfahrung bei der Realisierung von CSP-Kraftwerken. Abengoa Solar war für den Bau des weltweit ersten, neueren, Solarturm-Kraftwerks PS 10 (11 MW_{el}) sowie des Folgeprojekts PS 20 (20 MW_{el}) in Spanien verantwortlich. PS 10 ist seit 2007 in Betrieb ist, PS 20 hat in diesem Jahr die Produktion aufgenommen. Demnach betreibt Abengoa derzeit CSP-Anlagen mit einer Leistung von 31 MW_{el}.

Außerdem ist das Unternehmen an geplanten Projekten mit einer Kapazität von insgesamt 940 MW_{el} beteiligt. Weitere 100 MW_{el} befinden sich im Bau. Im Gegensatz zu deutschen Akteuren wie Solar Millennium sind Abengoa Solars laufende bzw. angekündigte Projekte nicht auf einen CSP-Technologiepfad begrenzt. Mit 241 Mitarbeitern – zum Vergleich: Solar Millennium beschäftigt 114 Mitarbeiter – verfügt Abengoa Solar über höhere personelle Kapazitäten und verzeichnete im vergangenen Geschäftsjahr mit 62 Mill. € einen deutlich höheren Umsatz als z.B. Solar Millennium (Umsatz 2007/08: 31 Mill. €).

Iberdrola Renovables

Iberdrola Renovables ist ein 80%iges Tochterunternehmen des spanischen Stromerzeugungs- und Stromvertriebsunternehmens Iberdrola, S.A., das zu den größten Stromversorgungsunternehmen Europas zählt. Die Geschäftstätigkeiten von Iberdrola Renovables haben sich bislang insbesondere auf Windenergie konzentriert. Im ersten Quartal des Jahres 2009 betrieb das Unternehmen weltweit Windkraftanlagen mit einer Kapazität von insgesamt 9.300 MW (Iberdrola Renovables 2009). Das Geschäftsfeld solarthermische Kraftwerke befindet sich im Aufbau, verzeichnet jedoch ein rapides Wachstum. Im Mai dieses Jahres wurde in Puertollano Iberdrolas erstes 50MW_{el}-Parabolrinnenkraftwerk in Betrieb genommen. In Spanien sind weitere Anlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 400 MW_{el} geplant. Außerhalb Spaniens sind bislang keine Projekte angekündigt worden. Allerdings verfügt das Unternehmen aufgrund seiner internationalen Tätigkeiten auf anderen Geschäftsfeldern über ein weit verzweigtes Netz an ausländischen Tochtergesellschaften, die die Positionierung auf dem Weltmarkt erleichtern dürften.

BrightSource Energy

Das Unternehmen ist aus dem israelischen Luz-Konzern hervorgegangen, der in den 1980er und 1990er in den USA die weltweit ersten Parabolrinnenkraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 354 MW_{el} errichtete. BrightSource Energy besitzt daher ein hohes Maß an technischer Expertise und Erfahrung bei der Realisierung von CSP-Anlagen. Der Hauptsitz des Unternehmens befindet sich in Oakland, Kalifornien. In der israelischen Negev Wüste besitzt BrightSource Energy überdies ein Forschungs- und Entwicklungszentrum zur Erprobung der firmeneigenen Solarturmtechnologie „Luz Power Technology 550“ (LPT 550). Die dortige Testanlage umfasst mehr als 1.600 Heliostaten und einen mehr als 60 Meter hohen Solarturm. Das Unternehmen ist derzeit an der Planung von Solarturmkraftwerken mit einer Kapazität von bis zu 400 MW_{el} beteiligt. Laut Pressemitteilungen könnten Solarturmkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 1.300 MW_{el} hinzukommen (BrightSource Energy et al. 2009).

Solel Solar Systems Ltd.

Solel Solar Systems hat seinen Hauptsitz in Israel und entwickelt und realisiert CSP-Kraftwerke. Die Kernkompetenzen des Unternehmens liegen auf den Gebieten Solarkollektoren und Receivertechnologien. Hier besitzt Solel mit der Kollektortechnologie Solel-6 sowie dem Universal Vacuum Collector (UVAC) 2008 konkurrenzfähige Produkte. In den vergangenen Jahrzehnten wurde Solels Parabolrinnentechnologie in den SEGS-Kraftwerken in Kalifornien angewendet und weist daher Referenzen aus jahrelanger Anwendung in großem Maßstab auf. An seinem Hauptsitz in Israel beschäftigt Solel mehr als 400 Mitarbeiter. Des Weiteren existieren Niederlassungen in den Schlüsselmärkten USA und Spanien. Die U.S.-amerikanische Tochtergesellschaft Solel Inc. ist von PG&E mit der Realisierung des weltweit

größten Parabolrinnenkraftwerks (553 MW_{el}) im Mojave Solar Park beauftragt worden. In Spanien hat Solel im Februar 2009 mit dem Bau eines 50 MW_{el}-Parabolrinnenkraftwerks begonnen. Das Projekt hat ein finanzielles Volumen von 111 Mill. €.

ACS-Actividades de Construcción y Servicios, SA

Das Unternehmen hat seinen Hauptsitz in Madrid. Die Schwerpunkte seiner Tätigkeiten sind Hoch- und Tiefbau und Telekommunikation. ACS beschäftigt 113.000 Mitarbeiter in 24 Geschäftsstellen auf allen Kontinenten und gehört zu den drei größten Baukonzernen Europas. Der Umsatz des Unternehmens belief sich 2008 auf 16 Mrd. €. Der Geschäftsbereich CSP macht nur einen kleinen Teil des gesamten Geschäftsfeld aus und ist unter dem Dach des 100%igen Tochterunternehmens Cobra gebündelt. Cobra beschäftigt 22.000 Mitarbeiter und ist Kooperationspartner von Solar Millennium. Für Andasol I und II wurden 75% des nötigen Eigenkapitals gestellt und der Baubetrieb verantwortet. Momentan wird Extresol 1 gebaut, Andasol IV und Extresol 2 sind in Planung.

ARIES Ingenieria y sistemas, SA

ARIES wurde 1985 gegründet und hat seinen Hauptsitz in Madrid. Zwei Niederlassungen befinden sich in Nordamerika, vier in Europa und sieben in Asien. Die Schwerpunkte von ARIES im Bereich CSP sind Machbarkeitsstudien, Planung und Projektmanagement. Der Umsatz des Unternehmens lag 2007 bei 14,7 Mio. €, der Forschungsetat bei 1,5 Mio. €. ARIES hat die Planungen zu sechs Parabolrinnenkraftwerken mit je 50 MW_{el} durchgeführt.

Tab. 4-1: Übersicht internationaler Akteure im Geschäftsfeld CSP

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projekt-beteiligungen
Abengoa Solar	Teil des spanischen Technologiekonzerns Abengoa	Abengoa Solar	Hauptsitz: Madrid, Spanien Niederlassungen in Mérida, Almería, Sevilla, Spanien International: Niederlassungen in Denver und San Francisco	Abengoa gesamt: 08: 3,1 Mrd. € 07: 2,7 Mrd. € <i>Auslandsanteil:</i> 08: Ca. 2 Mrd. € Abengoa Solar: 08: Ca. 62 Mill. €	Abengoa gesamt: 23.234 <i>Auslandsanteil (außerhalb Spaniens):</i> 13.712 Abengoa Solar: 08: 241 07: 104	Planung, Bau und Betrieb von CSP-Kraftwerken, sowohl Solarturm-, Parabolrinnen- und Dish-Anlagen mit eigenen Technologien Strategischer Fokus auf Spanien und USA; zunehmende Ausweitung auf andere Märkte wie Marokko oder Algerien	Bestehende/ abgeschlossene Projekte: Betrieb des weltweit ersten Solarturmkraftwerkes (11 MW _{el}) in Spanien (PS 10) Bau von 2 Parabolrinnenkraftwerken (je 50 MW _{el}) in Spanien Bau eines Solarturmkraftwerkes (20 MW _{el}) in Spanien (PS 20) Bau von zwei ISCC-Kraftwerken in Algerien und Marokko (jeweils 20 MW _{el}) Geplante Projekte: 1 geplantes Parabolrinnenkraftwerk in den USA (280 MW _{el}) 7 geplante Parabolrinnenkraftwerke in Spanien (gesamt: 350 MW _{el}) 2 Solarturmkraftwerke in Spanien (40 MW _{el}) 1 Dish-Stirling-Kraftwerk in Spanien (80 kW _{el})
Bright Source Energy, Inc.	Im Jahr 2004 gegründet; hervorgegangen aus dem israelischen Luz Interna-	Alle	Hauptsitz: Oakland (Kalifornien)	Keine Informationen öffentlich verfügbar	Keine Informationen öffentlich verfügbar	Planung, Bau, Betrieb und Finanzierung von CSP-Kraftwerken	Bestehende/ abgeschlossene Projekte: Das Vorgängerunterneh-

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projekt-beteiligungen
	tional, Ltd.		International: Solar Energy Development Center in Israel			Herstellung Vertrieb der Luz Power Tower 550 (LPT 550)-Technologie	men Luz International Ltd., errichtete zwischen 1985-1991 die weltweit ersten Parabolrinnen-kraftwerke in den USA (SEGS I-IV); Gesamtkapazität: 354 MW _{el} ; Geplante Projekte: Planung und Bau von 7 Solarturmkraftwerken des Typs LPT 550 in Ivanpah, USA, im Auftrag von Pacific Gas & Electric Company (PG&E); Gesamtkapazität: 1.300 MW _{el} Planung und Bau von 7 Solarturmkraftwerken des Typs LPT 550 in Ivanpah, USA, im Auftrag von Southern California Edison; Gesamtkapazität: 1.300 MW _{el}
Iberdrola, Renovables	Iberdrola Renovables ist Teil des spanisches Stromerzeugungs- und Vertriebsunternehmen Iberdrola, S.A., der 80% der Anteile besitzt	Iberdrola Renovables	Hauptsitz: Bilbao (Spanien) International: Iberdrola Renovables besitzt Tochter-	EBITDA: 08: 6,4 Mrd. € 07: Ca. 5,5 Mrd. € Anteil Iberdrola	Iberdrola gesamt: 08: 32.993 07: 26.196 Iberdrola Renova-	Entwicklung, Planung, Bau und Betrieb von Parabolrinnen-kraftwerken	Bestehende/ abgeschlossene Projekte: 50 MW _{el} -Parabolrinnen-kraftwerk in Puertollano, Spanien, Inbetrieb-nahme

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projekt-beteiligungen
	Ibedrola ist der drittgrößte Stromver-sorger Europas		gesellschaften in 11 Ländern	Renovables: 08: Ca. 337,9 Mill. €	bles: 09: Rd. 2.000 <i>Auslandsanteil:</i> 09: Ca. 1.260		im Mai 2009 Geplante Projekte: 11 Parabolrinnen-kraftwerke à 50 MW in Spanien befinden sich in der Planung; Gesamt-kapazität: 550 MW _{el}
Solel Solar Systems Ltd.	Tochtergesellschaften in den USA und Spanien	Alle	Hauptsitz: Beit Shemesh (Israel) International: Solel Inc., Niederlas-sung in Nevada Solel Spain, spanische Tochtergesellschaft	Keine Informatio-nen öffentlich ver-fügbar	Solel Solar Haupt-sitz in Israel: < 400	Planung, Bau und betrieb von Parabol-rinnenkraftwerken; Herstel-lung und Vertrieb von Solar-feldern, insbesondere der firmeneigenen Kollektor-technologie Solel-6 sowie der Receiver-technologie UVAC 2008. Beide Techno-logien werden unter dem Titel „SunField LP“ als Kompettpaket angeboten. U.S.-Tochter Solel Inc. konzentriert sich insbeson-dere auf die südwestlichen Regionen der USA.	Bestehende/ abgeschlos-sene Projekte: Optimierung der SEGS-Kraftwerke III, IV, V, VI, VII in Kalifornien, USA Test von verbesserten Kollektortechnologien an den SEGS-Anlagen VIII und IX. Geplante Projekte: Planung und Bau des mit 553 MW _{el} weltweit größten Parabolrinnenkraft-werks MSP-1) in der Mojave Wüste, USA Planung von drei 50 MW _{el} -Parabolrinnenkraft-werken in Andalusien, Spanien in Kooperation mit Sacyr Vallehermoso.
ACS SA	Die ACS-Gruppe hält 100% der Anteile an der	Alle CSP-Aktivitäten der	Hauptsitz:	ACS gesamt:	ACS gesamt:	Verantwortung des Baus und Betriebs von Parabol-	Bestehende/ abgeschlos-

Unternehmen	Konzernstruktur/ Partner	Segmente mit CSP-Fokus	Standorte	Umsatz	Mitarbeiter	CSP-Produkte/ Tätigkeits-schwerpunkte	Projekt-beteiligungen
	Actividades de Services e Instalaciones Cobra, S.A Partnerschaft mit Solar Millennium	ACS SA sind unter dem Dach von Cobra gebündelt	Madrid (Spanien) 24 Geschäftsstellen auf allen Kontinenten	08: 16 Mrd.€	08: 113.000 Cobra: 08: 22.000	rinnenkraftwerken	sene Projekte: Kooperationspartner von Solar Millennium Bau von Andasol I und Andasol II. Geplante Projekte: Bau von Extresol 1. Andasol 4 und Extresol 2 werden Vorbereitet.
Aries SA	100% unabhängige Ingenieursfirma	Segment Energy Division, Geschäftsfeld Solar	Hauptsitz: Madrid (Spanien) International: Spanien USA	Energy Division 08: Engineering Services: 14,7 Mill. € Forschung: 1,5 Mill. € CSP Plant Promotion: 769 Mill. €	Keine Angaben	Planung, Umsetzung und betrieb von Parabolrinnenkraftwerken	Bestehende/ abgeschlossene Projekte: Planung und Umsetzung von 6 Parabolrinnenanlagen mit jeweils 50 MW _{el}

5 Deutscher Anteil an der Wertschöpfung und den Arbeitplatzeffekten

5.1 Vorgehensweise zur Quantifizierung deutscher Anteile an der Wertschöpfungskette

Aufsetzend auf den in den vorherigen Kapiteln erfolgten Akteursanalyse der Industrie auf dem Gebiet CSP wird im Folgenden der Anteil deutscher Unternehmen an der Wertschöpfung resultierend aus einem globalen Ausbau der CSP-Technologie ermittelt. Dabei werden Zahlen existierender Studien als Basis genutzt. Konkret werden drei Szenarien miteinander verknüpft, die für die Berechnung des deutschen Anteils an der weltweiten Wertschöpfung durch CSP verwendet werden:

Technologieentwicklungsszenarien

Für die Quantifizierung des globalen CSP-Potentials werden zwei globale Szenarienpfade – ein „moderater“ und ein „ehrgeiziger“ Pfad - aus dem kürzlich von Greenpeace und Solarfachverbänden veröffentlichten „Global Concentrating Solar Power Outlook 2009“ (Greenpeace International et al. 2009) sowie das Referenzszenario des World Energy Outlooks 2007 der IEA verwendet. Die Szenarien enthalten Projektionen für den weltweiten Ausbau von CSP-Stromerzeugungskapazitäten bis zum Jahr 2050 (siehe Kapitel 5.2).

Kostenszenarien für CSP-Schlüsselkomponenten

In einem zweiten Schritt wird die Kostenentwicklung von CSP-Schlüsselkomponenten bis zum Jahr 2050 analysiert. Hierfür wird ein von MAN Ferrostaal untersuchtes Parabolrinnenkraftwerk als Referenzanlage gewählt (Kistner 2009). Das Referenzkraftwerk wird in Kapitel 5.3 näher beschrieben. Anschließend werden mit Hilfe von Lernkurven die Kostenentwicklungen der wichtigsten Anlagenkomponenten Solarfeld, thermischer Energiespeicher und Power Block bis zum Jahr 2050 skizziert (Kapitel 5.4). Dabei stützt sich die Untersuchung auf Lernkurvenberechnungen für solarthermische Kraftwerke der EU-NEEDS-Studie (Viebahn et al. 2008). Abb. 5-1 stellt einen typisierten Verlauf der Lernkurven dar.

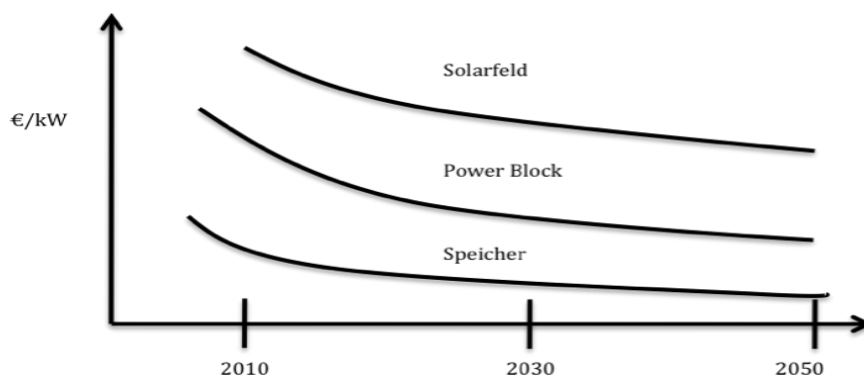


Abb. 5-1: Typisierter Lernkurvenverlauf für CSP-Schlüsselkomponenten

Quelle: Eigene Darstellung

Wertschöpfungsszenarien

Zur Quantifizierung der deutschen Beteiligung an der durch einen weltweiten Ausbau von

CSP resultierenden Wertschöpfung werden exemplarische Anteile deutscher Unternehmen an dem gewählten Referenzkraftwerk zugrunde gelegt. Kistner (2009) nennt folgende Werte:

- Basierend auf ihren heutigen Kapazitäten und Möglichkeiten, kann die deutsche Industrie zu 33% an dem EPC (Engineering, Procurement, Construction)-Preis eines typischen Parabolrinnenkraftwerkes partizipieren.
- Bei einer Verschlechterung der Rahmenbedingungen würde der Anteil deutscher Unternehmen auf 10% fallen. Dieser Fall könnte eintreten im Falle fehlender Finanzierung für deutsche Generalunternehmer, einer Abwanderung von Know-how in andere Länder oder einer zunehmenden Standardisierung von Komponenten und damit verbundenen Fertigungsmöglichkeiten in anderen Ländern.
- Wenn es deutschen Unternehmen gelingt, ihre Kompetenz in strategisch wichtigen Bereichen mit hohen Umsatzmöglichkeiten auszubauen, wird mit einer Wertschöpfungsbeileiligung von 41% gerechnet.

Die relativen Wertschöpfungsanteile der deutschen Industrie am Zubau von CSP-Kraftwerken werden auf Basis der Lernkurvenberechnung sowie der CSP-Ausbauszenarien von Greenpeace bis zum Jahr 2050 hochgerechnet und auf diese Weise grob skizziert.

5.2 Szenarien für den weltweiten Ausbau von CSP

Greenpeace International und Solarfachverbände haben im Mai 2009 eine Studie vorgelegt, die Szenarien für den weltweiten Ausbau der CSP-Technologie bis zum Jahr 2050 entwirft. Diese Technologieentwicklungsszenarien für CSP fungieren in der folgenden Wertschöpfungsanalyse als Grundlage für die Darstellung möglicher ökonomischer Chancen der deutschen Industrie durch einen globalen Ausbau von CSP. Die Studie umfasst drei Szenarienpfade (Greenpeace International et al. 2009):

- **„IEA-Referenzszenario“:** Der Referenzpfad basiert auf den Annahmen des World Energy Outlook 2007 der Internationalen Energy Agentur (IEA) und ist das konservativste der drei Szenarien. Es berücksichtigt lediglich existierende politische Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energie, legt jedoch weiterführende Reformen des Strom- und Gasmarktes, eine Liberalisierung des grenzübergreifenden Energiehandels sowie politische Maßnahmen zur Verringerung der Umweltverschmutzung zugrunde.
- **Moderates GP-Szenario:** Dieses Szenario berücksichtigt alle weltweit existierenden und geplanten politischen Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien und nimmt an, dass die politischen Ziele vieler Länder für den Ausbau erneuerbarer Energien oder CSP erreicht werden. Durch einen erfolgreichen Abschluss der internationalen Klimaverhandlungen in Kopenhagen werden Investoren ermutigt, in CSP-Kraftwerke zu investieren.
- **Ehrgeiziges GP-Szenario:** Das Szenario untersucht, in welchem Maße die CSP-Industrie im bestmöglichen Fall wachsen könnte. Dem Szenario liegt die Annahme zugrunde, dass alle Politikempfehlungen industrieller Akteure für erneuerbare Energien weltweit erfolgreich umgesetzt werden. Des Weiteren wird von einer starken und koordinierten Zunahme der Netzkapazitäten zur Übertragung des Stroms von CSP-Anlagen in sonnenreichen Ländern in Industrieländer ausgegangen.

Neben den dargestellten Annahmen für die Deckung des Energiebedarfs gehen die beschriebenen Szenarienpfade von verstärkten Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs aus. Hierfür werden eine eher konservative und eine ambitionierte Projektion für die Entwicklung des Energiebedarfs in die Modelle integriert. Die konservative Projektion basiert wie das Referenzszenario auf Annahmen des World Energy Outlooks 2007 und nimmt an, dass der globale Energiebedarf sich von 18.197 TWh im Jahr 2005 auf 35.384 TWh im Jahr 2030 erhöht. Der ambitionierte Pfad bezieht sich auf die Energie[R]evolution-Studie (Greenpeace International et al. 2008) und kommt zu dem Ergebnis, dass der Energiebedarf bis 2030 auf lediglich 23.131 TWh anwächst.

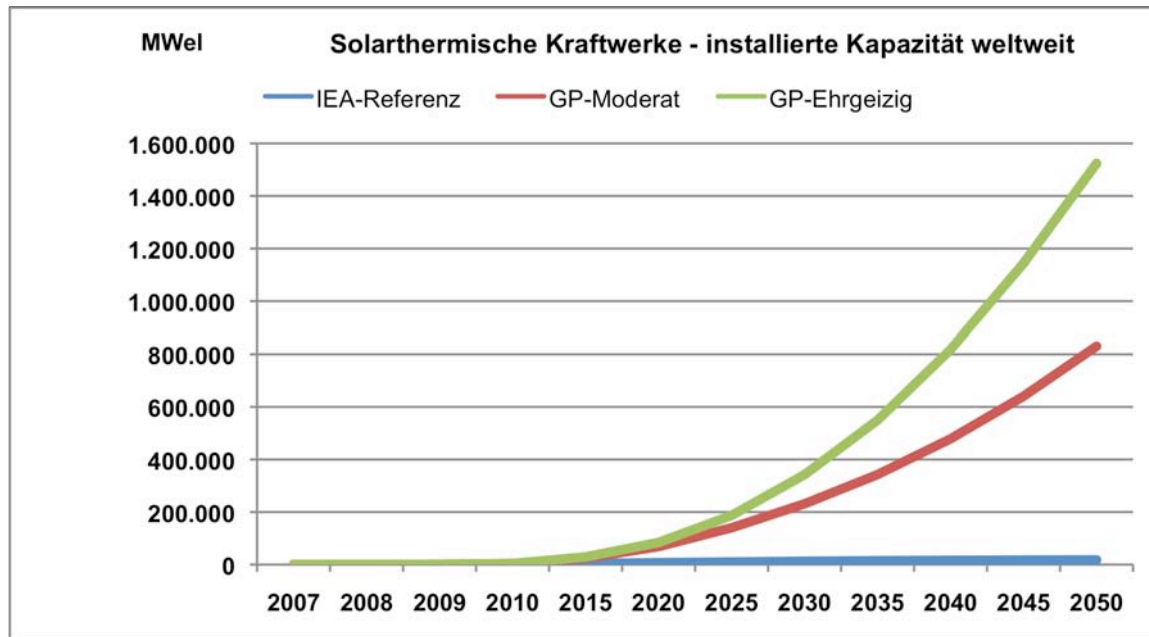


Abb. 5-2: Greenpeace-Szenarien zum weltweiten Ausbau von CSP-Kraftwerken

Quelle: Greenpeace International et al. 2009

Abb. 5-2 und Tab. 5-1 zeigen die von den drei Szenarien angenommene weltweite Entwicklung der CSP-Erzeugungskapazität bis zum Jahr 2050. Im *IEA-Referenzszenario* liegt die weltweite CSP-Kapazität im Jahr 2030 bei 13 GW und wächst bis 2050 auf 18 GW an. Im Jahr 2050 könnten damit maximal 0,2% der weltweiten Stromerzeugung geleistet werden. Der *moderate Szenarienpfad* prognostiziert für 2030 und 2050 eine globale CSP-Erzeugungskapazität von 231 GW bzw. 831 GW. Die Erzeugungsleistung im Jahr 2050 ist damit 46 mal höher als im Referenzpfad und könnte 9-12% des weltweiten Strombedarfs decken. Das *ambitionierte Szenario* errechnet eine Erzeugungskapazität von 342 GW (2030) bzw. 1.524 GW (2050). Im Jahr 2050 könnten, je nach Annahmen bezüglich der Entwicklung des globalen Energieverbrauchs, 18-26% des Stromverbrauchs anhand von Strom aus CSP-Kraftwerken befriedigt werden.

Tab. 5-1: Werte der Greenpeace-Szenarien zum weltweiten Ausbau von CSP-Kraftwerken

MW _{el}	2007	2008	2009	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
IEA-Referenz	418	481	1.010	1.673	4.065	7.271	10.009	12.765	14.856	16.420	17.219	18.018
GP-Moderat	418	481	1.010	3.945	24.468	68.584	140.053	231.332	342.607	478.632	640.668	830.707
GP-Ehrgeizig	418	481	1.085	4.100	29.419	84.336	186.978	342.301	549.582	818.182	1.144.109	1.524.172

Quelle: Greenpeace International et al. 2009

In Abb. 5-3 werden die drei Greenpeace-Szenarien mit Ausbauszenarien aus dem EU-NEEDS-Projekt (Viebahn et al. 2008) verglichen. Diese wiederum bauen auf der Auswertung verschiedenster anderer Mittel- und Langfristszenarien auf. Sie stellen Verläufe der weltweit installierten Leistung unter „pessimistischen“, „optimistisch-realistischen“ und „sehr optimistischen“ Annahmen hinsichtlich treibender Kräfte und der Aktivierung von politischen Instrumenten dar. Im Endausbau sieht das „moderate“ Greenpeace-Szenario eine doppelt so hohe installierte Leistung wie das „optimistisch-realistische“ NEEDS-Szenario vor; beim „ehrgeizigen“ Greenpeace-Szenario sind es etwa 50% mehr als im „sehr optimistischen“ NEEDS-Szenario. Die Unterschiede zeigen, dass eine erhebliche „Aktivierungsenergie“ insbesondere in der Anfangsphase bis zum Jahr 2025/30 nötig sein wird, einen derart hohen Ausbau solarthermischer Kraftwerke zu erreichen. Können die Kostensenkungspotenziale, die insbesondere in dieser Anfangsphase auftreten werden, realisiert werden (siehe Kapitel 5.4), dürfte die zweite Phase dagegen eher ein Selbstläufer werden.

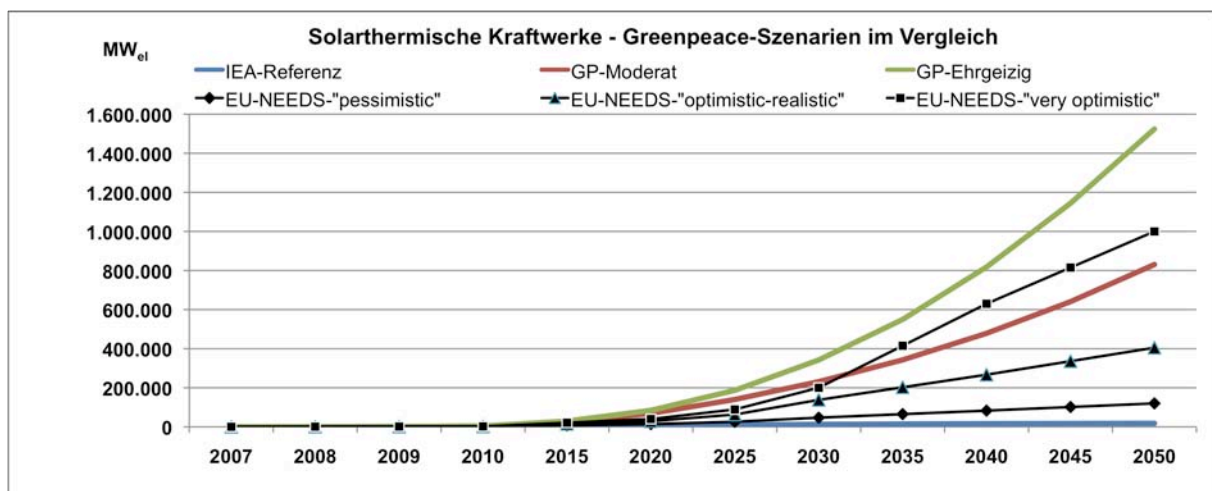


Abb. 5-3: Greenpeace-Szenarien im Vergleich mit Ausbauszenarien aus der EU-NEEDS-Studie

Quelle: Greenpeace International et al. 2009 und Viebahn et al. 2008

5.3 Referenzkraftwerk

Das von MAN Ferrostaal in einer Wertschöpfungsanalyse als Referenzanlage untersuchte Parabolrinnenkraftwerk basiert großteils auf Kostendaten des Andasol III-Kraftwerks (Kistner 2009). Mit dem Bau von Andasol III ist in Spanien kürzlich begonnen worden. Er wird von MAN Solar Millennium in Kooperation mit Sener durchgeführt. Das Kraftwerk wird für eine Kapazität von 50 MW_{el} ausgelegt und wird das erste Solarkraftwerk sein, das als Wärmeträgerflüssigkeit nicht mehr Thermoöl, sondern Direktampf verwendet. Es ist ebenso wie die anderen beiden Andasol-Kraftwerke mit einem thermischen Energiespeicher mit einer Speicherdauer von 7,5 Stunden (und damit einer Speicherkapazität von 375 kWh_{el}) ausgestattet. Die Investitionskosten der Anlage belaufen sich auf 300 Millionen € bzw. 6.000 €/kW_{el}. Abb. 5-4 illustriert die Aufschlüsselung der Kosten auf die einzelnen Komponenten nach Kistner (2009).

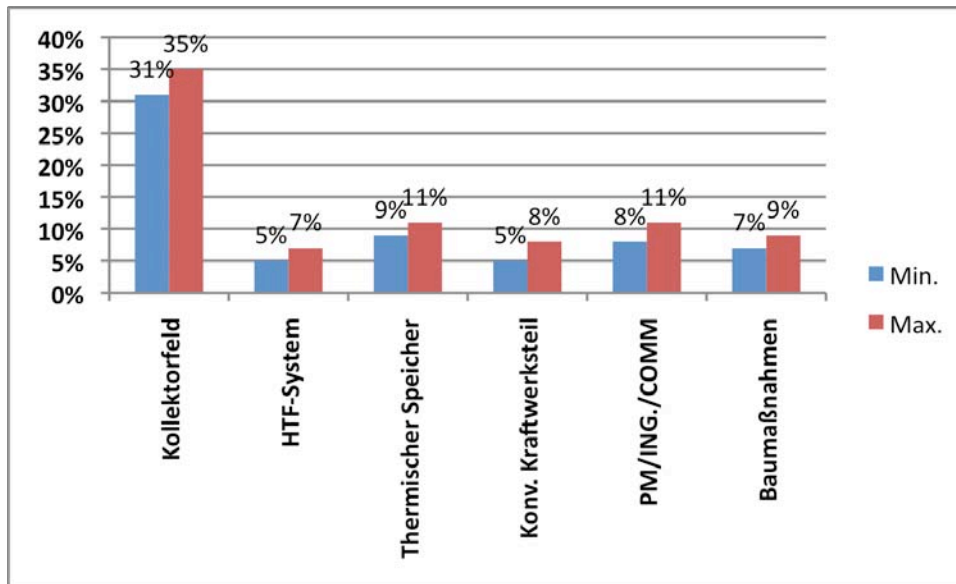


Abb. 5-4: Verteilung der Investitionskosten des Referenzkraftwerks nach Kistner (2009)

Quelle: Eigene Darstellung nach Kistner (2009)

Das Solarfeld und das Heat Transfer Fluid (HTF)-System stellen mit 36-42% den mit Abstand größten Anteil der Investitionskosten dar, wobei der Anteil des HTF-Systems 5-7% beträgt. Die Solarfeld-Komponenten Metal Support Structure (MSS), Parabolspiegel sowie der Receiver verursachen hier hohe Kostenanteile. Bei der Metall Support Structure handelt es sich um Gestelle zur Positionierung der Spiegel. Nach den Komponenten des Solarfelds stellt der thermische Energiespeicher mit einem Anteil von 9-11% an den Gesamtkosten die kostenintensivste Komponente dar. Die hohen Kosten werden hauptsächlich für Equipment, Wärmetauscher und Tanks aufgewendet. Der konventionelle Kraftwerksteil verursacht 5-8% der Investitionskosten, der Anteil von Management- und Engineering-Tätigkeiten sowie Baumaßnahmen beläuft sich auf 15-20%. Auf Baumaßnahmen entfällt dabei ein Anteil von 7-9%.

Dieses Referenzkraftwerk wird im Folgenden auch als Referenz für die Entwicklung der Investitionskosten und die nachfolgende Wertschöpfungsanalyse verwendet. In den Angaben von Kistner (2009) sind allerdings nicht alle Anteile enthalten: Bei der Min-Abschätzung fehlen 36% der Kraftwerkskomponenten, bei der Max-Abschätzung 19%, darunter insbesondere die Balance-of-Plant. Daher wurde in Anlehnung an die in der NEEDS-Studie verwendeten Anteile (Viebahn et al. 2008) die folgende Aufteilung aufgenommen und die fehlenden Anteile (nach Abzug des BOP-Anteils) auf alle Rubriken verteilt:

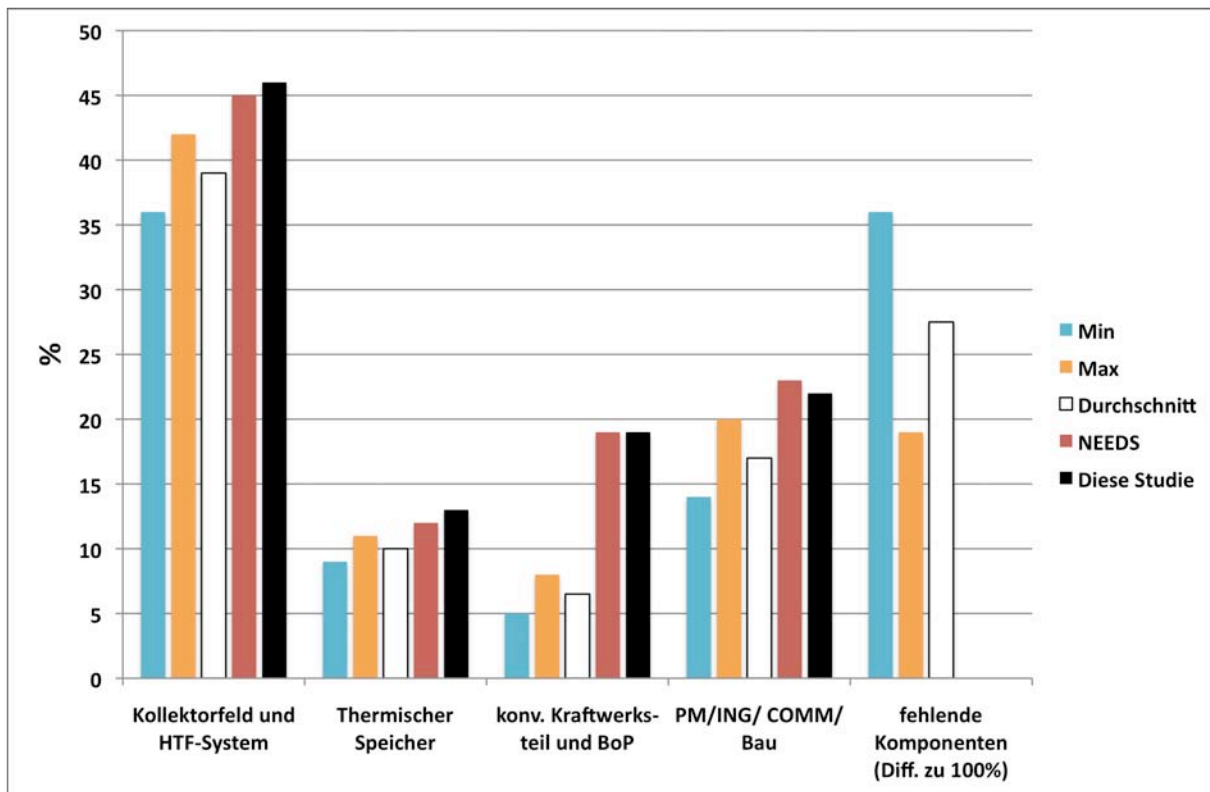


Abb. 5-5: Verteilung der Investitionskosten des Referenzkraftwerks

Quelle: Eigene Darstellung

Es ergibt sich damit die folgende Aufteilung der Gesamtkosten des Referenzkraftwerks (sowohl pro kW Leistung als auch umgerechnet auf die spezifischen Bezugsgrößen der einzelnen Komponenten):

Tab. 5-2: Aufteilung der Gesamtkosten des CSP-Referenz-Kraftwerks in 2009

Komponente	Kostenanteil		Spezifische Investitionskosten	
	%	€/kW _{el}	€/spezif. Bezugsgröße	
Solarfeld	46	2.740	268	€/m ₂ Aperture
Speicher	13	750	104	€/kWh _{el} Speicherkapazität
Konventioneller Kraftwerksteil	19	1.130	1.140	€/kW _{el} Leistung
Personalkosten, Commissioning, u.a.	23	1.380	1.380	€/kW _{el} Leistung
Summe	100	6.000		

Quelle: Eigene Darstellung

5.4 Kostenszenarien

Zur Ermittlung der jährlichen Wertschöpfung aus dem Zubau von Solarkraftwerken werden die jährlichen Investitionskosten pro Kraftwerk benötigt. Aus ihnen können im nächsten Schritt dann die weltweit zu tätigen Investitionen berechnet sowie der Anteil der deutschen Industrie ermittelt werden. Zur Ableitung der spezifischen Investitionskosten wird im Folgenden der Lernkurvenansatz verwendet. Die Lernrate einer Technologie gibt an, um wie viel Prozent die Investitionskosten sinken, wenn sich die weltweit installierte Kapazität verdoppelt. Eine Lernrate von 15% bedeutet beispielsweise, dass pro Verdopplung der instal-

lierten Kapazität die spezifischen Kosten um 15% sinken. Analog zur Lernrate wird die Progressionsrate (progress ratio, PR) definiert, die die verbleibenden Kosten kennzeichnet und in diesem Beispiel 85% beträgt. Die Investitionskosten c_x zum Zeitpunkt x werden aus den Anfangskosten c_0 sowie der zum Zeitpunkt x und zu Beginn der Lernkurve installierten Leistungen P_x und P_0 über die folgende Formel abgeleitet (Neij et al. 2003):

$$c_x = c_0 \cdot \left(\frac{P_x}{P_0} \right)^{\frac{\log PR}{\log 2}}$$

Für die folgende Rechnung werden die innerhalb des EU-Projektes NEEDS für solarthermische Kraftwerke hergeleiteten Lernraten verwendet (Viebahn et al. 2008). Aufgrund des unterschiedlichen Reifegrades der solarthermischen Technik wurden dort verschiedene Lernraten angewendet (siehe Tab. 5-3): Während der konventionelle Kraftwerksteil (Turbine, Balance of Plant,...) weitgehend ausgereift ist und hier nur die Anpassung an die spezifischen Gegebenheiten eines Solarkraftwerks erfolgen muss, wird für den Solarteil und den Speicher noch ein erhebliches Kostensenkungspotenzial angenommen.

Tab. 5-3: Annahmen für die Lernkurven zu CSP

Komponente	Lernrate	Progressionsrate	Bezug	Grenzkosten
Kollektorfeld	12%	88%	m_2 Aperture	---
Speicher	12%	88%	kWh _{el} Speicherkapazität	---
Konventioneller Kraftwerksteil	5%	95%	kW _{el} Leistung	800 €/kW
Personalkosten, Commissioning	0%	100%	kW _{el} Leistung	

Quelle: Viebahn et al. 2008

Als Anfangswert für das Jahr 2009 werden die in Tab. 5-2 aus den Gesamtkosten von 6.000 €/kW_{el} hergeleiteten spezifischen Investitionskosten angesetzt. Im Unterschied zu NEEDS werden die Kosten, die auf Personal, Commissioning usw. anfallen, aus der Lernkurvenanalyse herausgenommen und stattdessen als konstanter Kostenfaktor mitgeführt. Obwohl auch hier ein „Lernen“ wahrscheinlich erscheint, würde dies durch steigende Löhne und Gehälter wieder ausgeglichen werden, so dass der Verlauf näherungsweise als konstant angenommen wird.

Abb. 5-6 zeigt, dass das Referenzkraftwerk mit 6.000 €/kW_{el} etwas höher liegt, als es bei einer Speicherdauer mit einer Solar Multiplen von 2 liegen dürfte. Vermutlich sind die ausgewiesenen Gesamtkosten von 300 Mio. € aufgrund der guten Bedingungen des spanischen Energie-Einspeisegesetzes höher als die realen Kosten. Andererseits wird hier mit der Direktverdampfung eine neue Technologie mit anfangs höheren Kosten verwendet, so dass dieser Ausgangswert im Weiteren beibehalten wird.

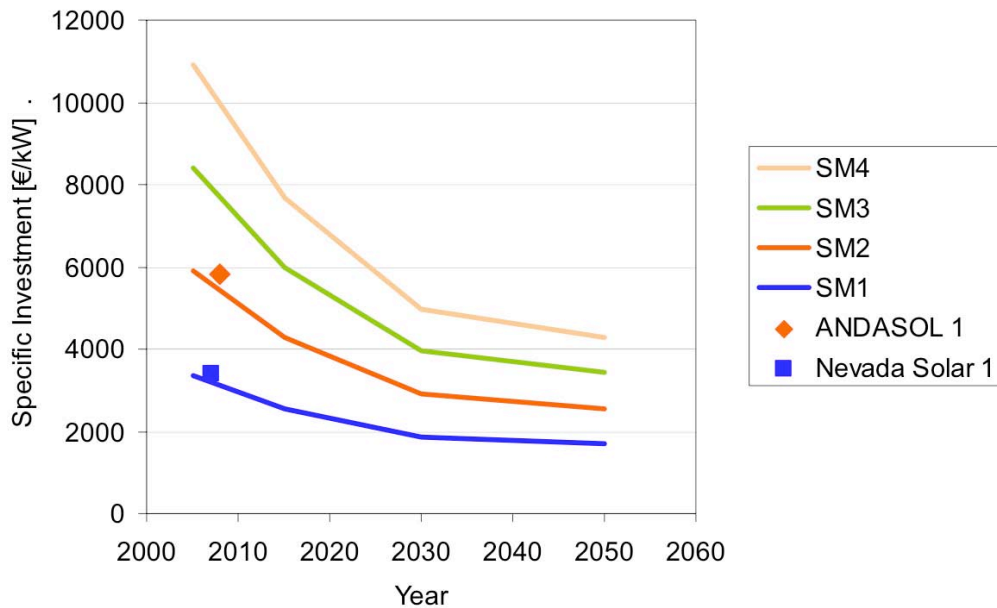


Abb. 5-6: Lernkurven von solarthermischen Kraftwerken als Funktion von Solar Multiplen (SM) und Zeit mit Endordnung der Neubauten Andasol 1 und Nevada Solar 1

Quelle: Trieb et al. 2009

Die Abbildung zeigt jedoch auch, dass die innerhalb von Greenpeace International et al. (2009:67) als Anfangswert der Lernkurve angesetzten Investitionskosten von 4.000 €/kW_{el} ein Solarkraftwerk mit nur geringer Speicherkapazität (Solar Multiple = 1,1-1,3) darstellen und somit etwas höher als das amerikanische Nevada Solar 1 Projekt liegen. Da CSP-Kraftwerke jedoch wie in Kapitel 2.1.4 dargestellt insbesondere wegen ihrer Speicherfähigkeit und damit der Nutzbarkeit als Grund- und Spitzenlastkraftwerk interessant sind, werden in dieser Studie von Beginn an höhere Investitionskosten verwendet, die sich durch die Hinzunahme eines 7,5-Stunden Speichers und damit eines weiteren Solarfeldes ergeben. Im Folgenden werden daher auch höhere Investitionen berechnet als von Greenpeace International et al. (2009) ausgewiesen wurden. Im weiteren Verlauf gleichen sich die Kostenkurven an, da in der Greenpeace-Studie nach und nach eine höhere Speicherkapazität angenommen wird, die sich in 2050 auf einen capacity Faktor von 50% (moderates Szenario) bzw. 59% (ehrgeiziges Szenario) beläuft.

Folgende weitere Einschränkungen sollten bei der Analyse der Ergebnisse beachtet werden:

- Es werden keine unterschiedlichen Lernraten für verschiedene Zeiträume angenommen – stattdessen werden zumindest für den konventionellen Kraftwerksteil Grenzkosten von 800 €/kW verwendet, bei deren Erreichen die Lernkurve nicht weiter geführt wird.
- Die für das Kollektorfeld und den Speicher angenommenen Lernraten sind aus dem Bau der kalifornischen SEGS-Kraftwerke hergeleitet, die mit einer installierten Kapazität von 354 MW_{el} jedoch eine sehr kleine Basis für eine Lernkurve darstellen.
- Die Kostenanalyse wird auf Basis des Jahres 2009 durchgeführt; die in der Zukunft liegenden Werte werden nicht abdiskontiert.
- Die Analyse bezieht sich nur auf Parabolrinnen-Kraftwerke und sollte gegebenenfalls auf Solartürme ergänzt werden.

- Es erfolgt keine Differenzierung nach Regionen bzw. nach dem Strahlungsangebot, das zwischen 2.000 und 2.800 kWh/m_{2,a} variieren kann und ganz unterschiedliche Auslegungen der Kraftwerke zur Folge hätte.

Abb. 5-7 zeigt am Beispiel des moderaten GP-Szenarios den Kostenverlauf der einzelnen Komponenten sowie des Gesamtkraftwerks. Es ist deutlich zu erkennen, dass die größte Kostensenkung in den nächsten Jahren stattfindet, verursacht durch die erhebliche Zunahme der installierten Leistung und damit mehrfacher „Verdoppelungen“ gerade in den ersten Jahren.

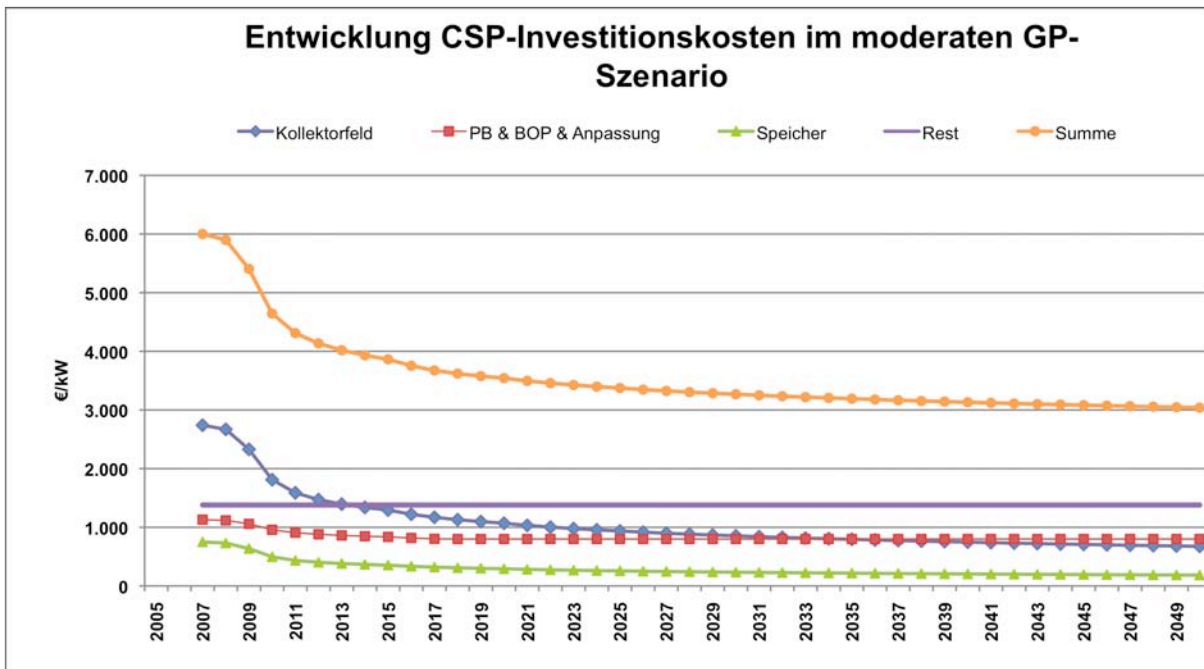


Abb. 5-7: Entwicklung der CSP-Investitionskosten im moderaten GP-Szenario nach Lernkurvenansatz
Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 5-8 zeigt die Kostenentwicklung für die drei Szenarien auf einen Blick. Während im IEA-Referenzszenario die Gesamtkosten bis zum Jahr 2050 von 6.000 €/kW_{el} auf 4.000 €/kW_{el} absinken, nähern sich die Kosten der beiden anderen Szenarien einem Wert von rund 3.000 €/kW_{el} an. Die moderaten und ehrgeizigen Szenarien haben einen relativ ähnlichen Verlauf, für den der hohe Anstieg der installierten Leistung am Anfang der Lernkurve verantwortlich ist. Die Einzelwerte der verschiedenen Szenarien sind in Tab. 5-4 dargestellt.

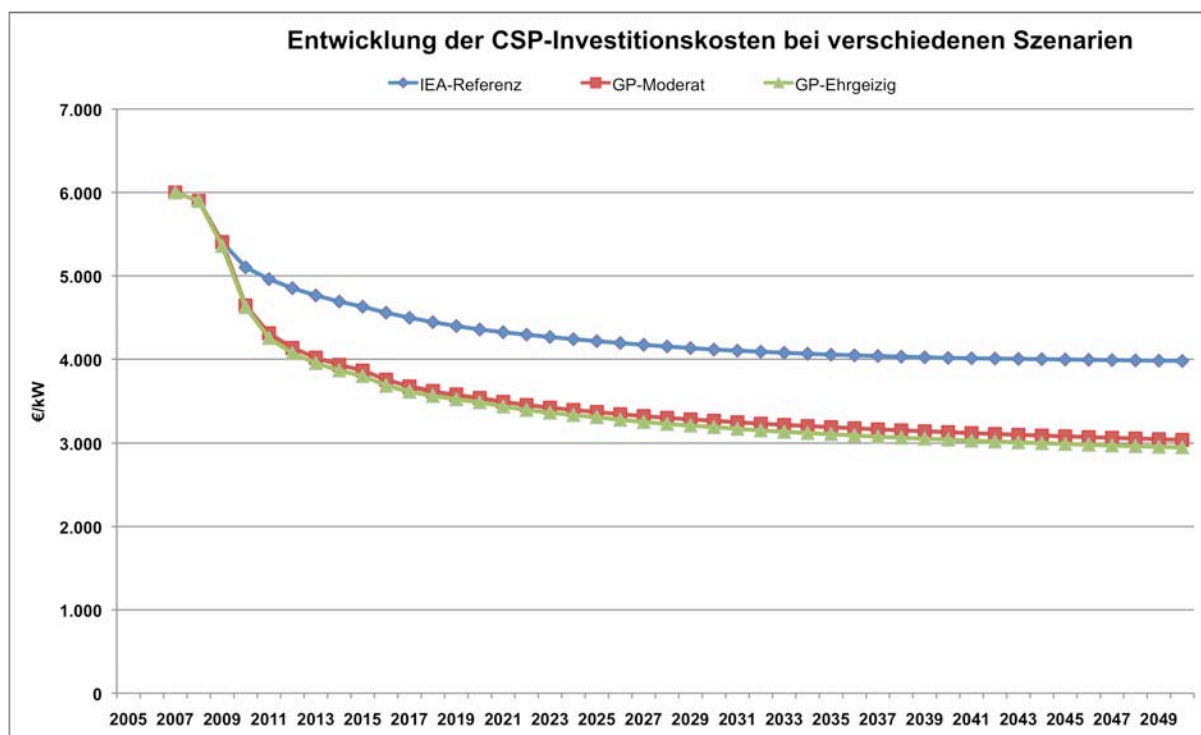


Abb. 5-8: Vergleich der Entwicklung der CSP-Investitionskosten für die drei Szenarienpfade

Quelle: Eigene Darstellung

Tab. 5-4: Entwicklung der CSP-Investitionskosten für die drei Szenarienpfade

IEA-Referenz		2007	2010	2020	2030	2040	2050
Installierte Kapazität	GW	0,42	1,67	7	13	16	18
Kollektorfeld	€/kW	2.740	2.121	1.618	1.458	1.392	1.369
PB & BOP & Anpassung	€/kW	1.130	1.020	915	877	861	855
Speicher	€/kW	750	581	443	399	381	375
Rest	€/kW	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380
Summe	€/kW	6.000	5.102	4.356	4.115	4.015	3.979
GP-Moderat		2007	2010	2020	2030	2040	2050
Installierte Kapazität	GW	0,42	3,95	69	231	479	831
Kollektorfeld	€/kW	2.740	1.811	1.070	855	747	675
PB & BOP & Anpassung	€/kW	1.130	957	800	800	800	800
Speicher	€/kW	750	496	293	234	205	185
Rest	€/kW	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380
Summe	€/kW	6.000	4.644	3.542	3.269	3.132	3.040
GP-Ehrgeizig		2007	2010	2020	2030	2040	2050
Installierte Kapazität	GW	0,42	4,10	84	342	818	1524
Kollektorfeld	€/kW	2.740	1.798	1.030	795	677	604
PB & BOP & Anpassung	€/kW	1.130	954	800	800	800	800
Speicher	€/kW	750	492	282	218	185	165
Rest	€/kW	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380
Summe	€/kW	6.000	4.625	3.491	3.193	3.042	2.949

Quelle: Eigene Darstellung

Für die Wertschöpfungsanalyse sind im Gegensatz zu der oben dargestellten installierten Gesamtkapazität die *jährlichen Zubauzahlen* und die sich daraus ergebenden Investitionssummen (weltweit) notwendig. Diese sind in Tab. 5-5 als Zubau pro Jahrzehnt aufgelistet und im Anhang (Tab. 8-1) pro Jahr dargestellt.

Tab. 5-5: Entwicklung der CSP-Zubaukosten für die drei Szenarienpfade (pro Jahrzehnt)

IEA-Referenz		2010	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	Summe
Zugebaute Kapazität	GW	1,67	6	5	4	2	18
Kollektorfeld	Mio €	3.549	9.057	8.012	5.089	2.187	27.894
PB & BOP & Anpassung	Mio €	1.706	5.121	4.820	3.148	1.367	16.162
Speicher	Mio €	972	2.479	2.193	1.393	599	7.636
Rest	Mio €	2.309	7.725	7.582	5.044	2.205	24.865
Summe	Mrd €	9	24	23	15	6	77
GP-Moderat		2010	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	Summe
Zugebaute Kapazität	GW	3,95	65	163	247	352	831
Kollektorfeld	Mio €	7.145	69.136	139.106	184.850	237.723	637.961
PB & BOP & Anpassung	Mio €	3.776	51.711	130.198	197.840	281.660	665.185
Speicher	Mio €	1.956	18.925	38.079	50.601	65.075	174.637
Rest	Mio €	5.444	89.202	224.592	341.274	485.864	1.146.376
Summe	Mrd €	18	229	532	775	1.070	2.624
GP-Ehrgeizig		2010	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	Summe
Zugebaute Kapazität	GW	4	80	258	476	706	1524
Kollektorfeld	Mio €	7.373	82.608	205.120	322.219	426.210	1.043.529
PB & BOP & Anpassung	Mio €	3.913	64.189	206.372	380.705	564.792	1.219.970
Speicher	Mio €	2.018	22.613	56.150	88.205	116.672	285.658
Rest	Mio €	5.658	110.726	355.992	656.716	974.266	2.103.357
Summe	Mrd €	19	280	824	1.448	2.082	4.653

Quelle: Eigene Darstellung

Nicht Teil dieser Studie war die Kalkulation der Stromgestehungskosten, die sehr vom jeweiligen Standort, den Strahlungsverhältnissen und der Größe der Speicher abhängig ist. In der NEEDS-Studie wurden für das Jahr 2050 für Südspanien – je nach Szenario – 4,2-4,7 ct/kWh_{el} für Algerien 3,3-3,72 ct/kWh_{el}. Errechnet. Die derzeitigen Kosten für neue Kraftwerke betragen etwa 18 ct/kWh_{el} bei spanischen Strahlungsverhältnissen (2.000 kWh/m₂,a) und einer Speicherdauer von 7,5 Stunden. (Viebahn et al. 2008).

Abb. 5-9 zeigt eine mögliche Entwicklung der Stromgestehungskosten von CSP für Deutschland im Vergleich mit anderen Erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung (CSP ist zusammengefasst unter „Europäischer Stromverbund“). In diesem Fall ist der Stromtransport mittels HGÜ-Leitungen zu den eigentlichen Stromgestehungskosten hinzugerechnet. Danach bewegt sich CSP zukünftig leicht über Geothermie, Wind und Fester Biomasse und wird günstiger als Wasserkraft, Biogase und Fotovoltaik eingeschätzt (Nitsch 2008:104).

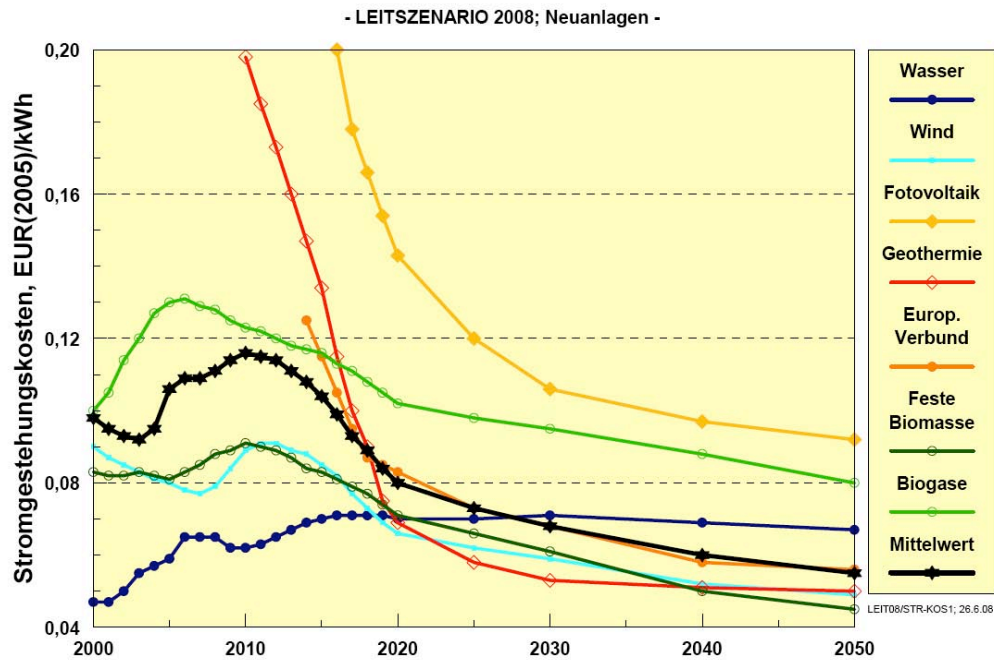


Abb. 5-9: Zukünftige Kostenentwicklung der stromerzeugenden EE-Technologien bis 2050 und des Mittelwerts des gesamten EE-Mixes im LEITSZENARIO 2008

Quelle: Nitsch 2008

5.5 Wertschöpfungsszenarien

5.5.1 Deutscher Umsatzanteil am Referenzkraftwerk

In seiner Wertschöpfungsstudie geht Kistner (2009) davon aus, dass 33% der für die Realisierung des Referenzkraftwerks erforderlichen Leistungen von deutschen Unternehmen erbracht werden können. Damit gehen auch 33% des generierten Umsatzes an deutsche Marktakteure. Die Umsätze werden als deutsche Anteile verortet, wenn der Hauptsitz eines Unternehmens sich in Deutschland befindet. Aus Gründen der Vereinfachung wird nicht berücksichtigt, ob die jeweiligen Komponenten in ausländischen oder inländischen Fertigungswerken eines deutschen Unternehmens produziert worden sind. Tab. 5-6 fasst die von Kistner (2009) für diesen Fall angenommenen Anteile deutscher Unternehmen an den *Investitionskosten je Kostenkomponente* zusammen.

Tab. 5-6: Deutscher Umsatzanteil an den Investitionskosten je Kostenkomponente

Kostenkomponente	Deutscher Anteil an Kostenkomponenten in %
Kollektorfeld	60
HTF-System	41
Thermischer Speicher	1
Konventioneller Kraftwerksteil	80
Personal, Engineering, Commissioning	55
Baumaßnahmen	0

Quelle: Eigene Darstellung nach Kistner 2009

Abb. 5-10 überträgt die Annahmen aus der obigen Tabelle in die für diese Studie gewählte Aufschlüsselung der Kostenkomponenten, indem die obigen Umsatzanteile auf die in Abb. 5-4 gezeigten Anteile an den Investitionskosten bezogen werden. Schließlich werden Kollektorfeld und HTF-System sowie Personal, Engineering, Commissioning und Baumaßnahmen zu jeweils einer Kostenkomponente zusammengefasst.

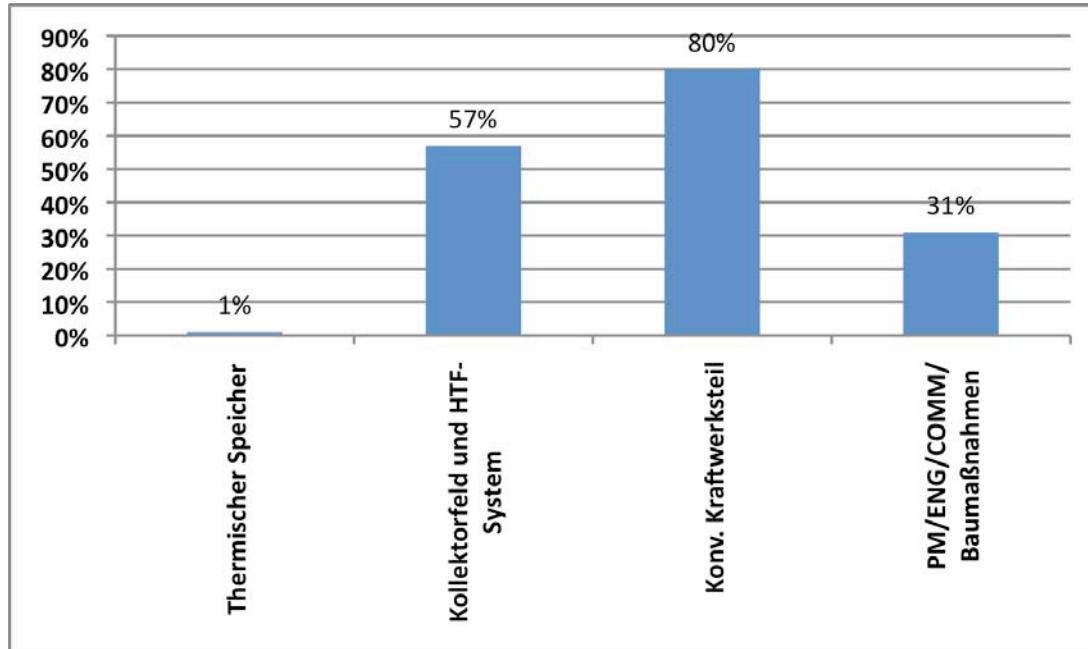


Abb. 5-10: Umsatzanteil deutscher Unternehmen an den Investitionskosten für das Referenzkraftwerk je Kostenkomponente

Quelle: Eigene Darstellung nach Kistner 2009

Es wird deutlich, dass die größte deutsche Kompetenz beim *konventionellen Kraftwerksteil* und dem *Kollektorfeld* zu verorten ist. Beim Kollektorfeld handelt es sich um CSP-spezifische Komponenten, die eine hohe technologische Spezialisierung der Marktakteure erfordern. Hier sind deutsche Player wie Schott Solar oder Flabeg führende Hersteller von Schlüsselkomponenten. Die Bestandteile des Kraftwerksblocks sind hingegen sekundäre Komponenten, die für die Anwendung in CSP-Kraftwerken zwar adaptiert werden müssen, bei denen jedoch grundsätzlich auf Expertise und Erfahrungen aus dem konventionellen Kraftwerkssektor zurückgegriffen werden kann. Aus diesem Grund verfügen weltweit führende deutsche Turbinenhersteller über eine gute Ausgangsposition für eine Beteiligung am wachsenden Markt für CSP-Kraftwerke, was durch die hohe Zahl an Auftragseingängen der Siemens AG für Turbinen für solarthermische Kraftwerke belegt wird (siehe Kapitel 3.2).

Die Planung und das Management von CSP-Kraftwerksprojekten kann als weitere Kernkompetenz deutscher Unternehmen identifiziert werden. Hier verfügt die Industrie mit Generalunternehmen wie MAN Ferrostaal und Solar Millennium über zwei international gut vernetzte Player, die durch das Joint Venture MAN Solar Millennium eng verknüpft sind und durch Tochtergesellschaften wie Flagsol über eine hohe Kompetenz bei wichtigen Komponenten verfügen. Kraftanlagen München und Novatec Biosol konzentrieren sich vorrangig auf Solarturm- bzw. Fresnel-Kraftwerke und sind dabei, sich auf dem internationalen Markt zu positionieren. Allerdings existiert bei der Realisierung von CSP-Kraftwerken starke internationale

Konkurrenz insbesondere durch spanische und U.S.-amerikanische Marktakteure, die an zahlreichen Projekten beteiligt waren bzw. sind.

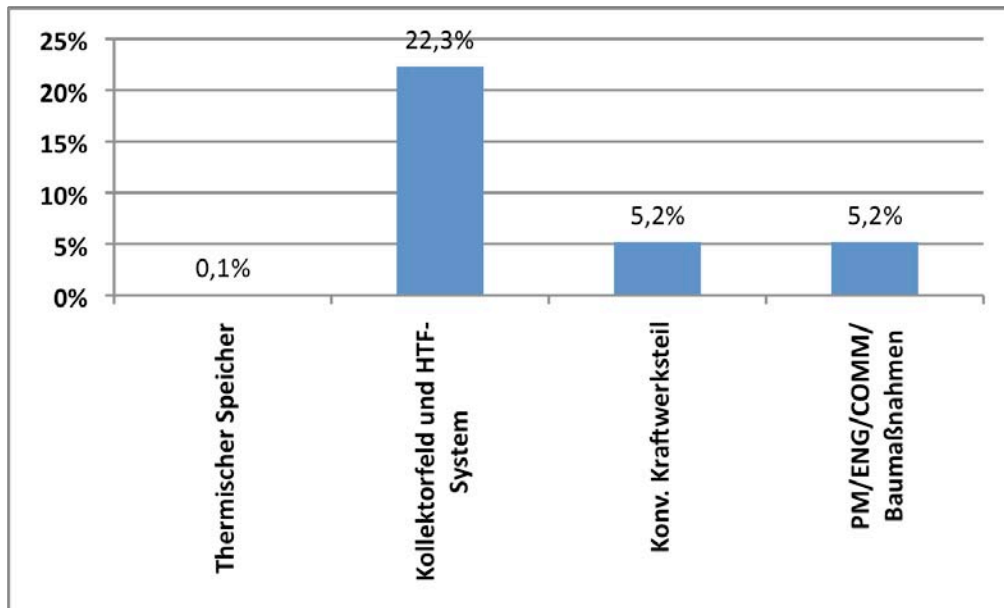


Abb. 5-11: Umsatzanteil deutscher Unternehmen an den gesamten Investitionskosten für das Referenzkraftwerk (Szenario 33%)

Quelle: Eigene Darstellung nach Kistner 2009

Wird die in Tab. 5-6 dargestellte Beteiligung deutscher Unternehmen an den Komponenten des CSP-Referenzkraftwerks auf den Gesamtpreis der Anlage angerechnet, ergibt sich nach Kistner (2009) ein deutscher Anteil von insgesamt 33%. Bei Investitionskosten in Höhe von ca. 300 Mill. € entspricht dieser Anteil einem absoluten Wert von 99 Millionen €. Wenn die deutsche Industrie ihre Leistungsfähigkeit in strategisch wichtigen Bereichen stärkt, könnte sich laut Kistner ihr Beitrag zu CSP-Kraftwerken auf 41% (123 Mio. €) erhöhen. Bei einer Verschlechterung der Rahmenbedingungen könnte sich ihr Anteil an der Wertschöpfung auf 10% (30 Mio. €) verringern.

5.5.2 Deutscher Anteil an der Wertschöpfung eines weltweiten Ausbaus von CSP

In diesem Abschnitt wird das Wertschöpfungspotential deutscher Unternehmen resultierend aus dem in den Greenpeace-Szenarien skizzierten CSP-Ausbau grob quantifiziert. Die Ergebnisse basieren auf den in Tab. 5-4 dargestellten Lernkurven für CSP bis zum Jahr 2050 und den Annahmen von Kistner (2009) hinsichtlich des deutschen Beitrags an den Investitionskosten eines CSP-Referenzkraftwerks. Lediglich für den 33%-Fall bricht Kistner die Beteiligung der deutschen Unternehmen an der Wertschöpfung auf die einzelnen Kostenkomponenten herunter. Für die Wertschöpfungsannahmen 10% und 41% liegen derartige Zahlen nicht vor. Bei der Ermittlung der Wertschöpfungsanteile deutscher Unternehmen werden deshalb insgesamt vier Varianten berechnet:

- Die *ersten drei Varianten* rechnen die von Kistner angenommenen deutschen Wertschöpfungsbeteiligungen (10%, 33%, 41%) konstant auf die Kosten der einzelnen Komponenten des in dieser Studie verwendeten Referenzkraftwerks (siehe Tab. 5-2) an.

- In der *vierten Variante* wird eine Wertschöpfungsbeteiligung von 37% gerechnet. Diese ergibt sich aus der Anwendung der von Kistner ausgewiesenen Umsatzanteile (Tab. 5-6) auf das *vollständige* Referenzkraftwerk nach Tab. 5-2.

Die Darstellung der deutschen Wertschöpfungsanteile erfolgt in Fünffjahresschritten, da in den Greenpeace-Szenarien der Zubau von CSP-Erzeugungskapazitäten von 2010-2050 ebenfalls in fünfjährlichen Abständen präsentiert wird. Die Angaben zur deutschen Wertschöpfung pro Fünffjahreseinheit basieren jeweils auf den in diesem Zeitraum entstehenden Zubauinvestitionen.

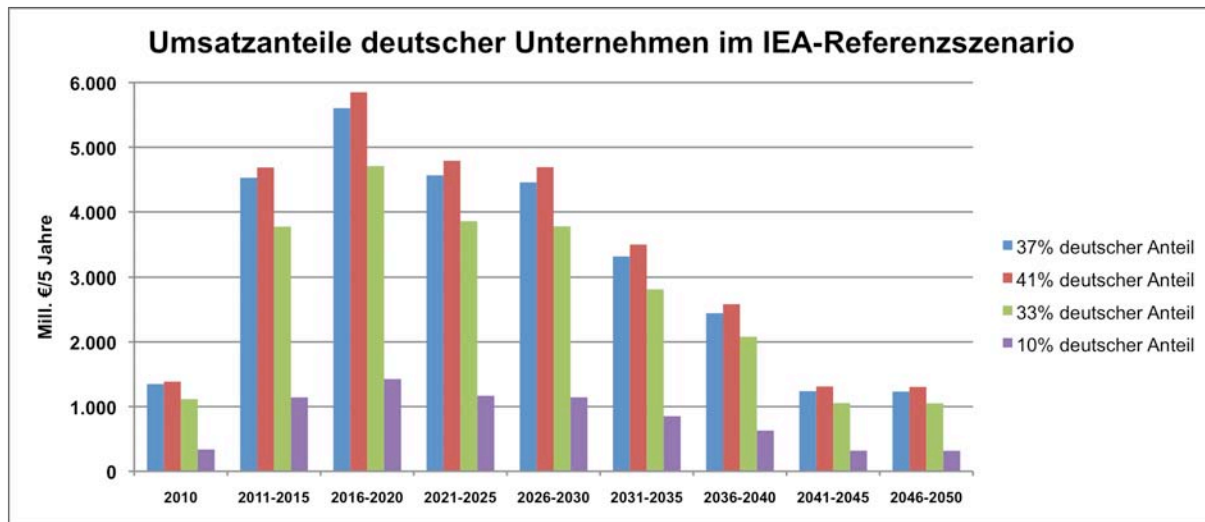


Abb. 5-12 Umsatzanteile deutscher Unternehmen an der Wertschöpfung durch einen weltweiten CSP Ausbau im IEA-Referenzszenario

Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 5-12 illustriert die Anteile deutscher Unternehmen an der Wertschöpfung im IEA-Referenzszenario. Dieses weist zwar bis 2050 einen Zubau an CSP-Kapazitäten aus, jedoch geht die Menge an jährlich zugebauter Kraftwerksleistung und der damit einhergehenden Investitionen ab 2020 stetig zurück. Dementsprechend steigen auch die Umsatzanteile deutscher Unternehmen in allen vier Varianten zunächst an und nehmen ab dem Jahr 2020 kontinuierlich wieder ab. Im Maximalfall (2016-2020) können die Umsätze zwischen 1,4 und 5,9 Mrd. € pro Jahrfünft erreichen, im Minimalfall (2046-2050) nur noch zwischen 0,3 und 1,3 Mrd. € pro Jahrfünft.

Aufgrund der deutlich stärkeren Ausbaudynamik im moderaten und ehrgeizigen Pfad fallen die Umsätze deutscher Unternehmen dort deutlich höher aus und steigen bis 2050 kontinuierlich an (siehe Abb. 5-13 und Abb. 5-14). Im *moderaten Szenario* startet die Entwicklung im Zeitraum von 2011-2015 mit Umsätzen zwischen 8,4 und 34,4 Mrd. € pro Jahrfünft und erreicht am Ende des Szenariozeitraums (2046-2050) zwischen 58,3 und 239,1 Mrd. € pro Jahrfünft. Im *ehrgeizigen Szenario* betragen die Umsätze am Beginn zwischen 10,2 und 41,7 Mrd. € pro Jahrfünft und am Ende zwischen 113,1 und 463,7 Mrd. € pro Jahrfünft.

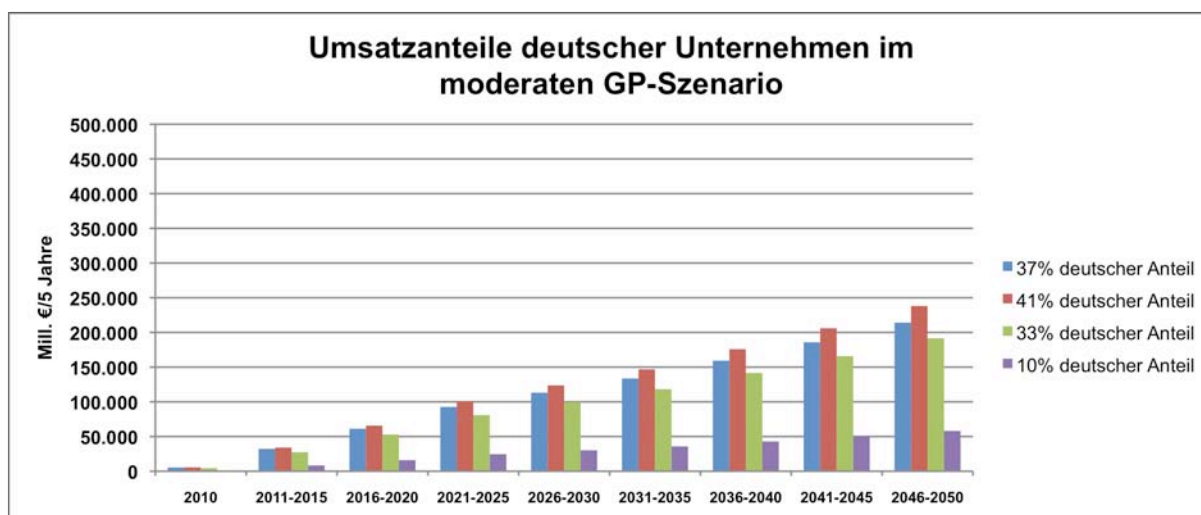


Abb. 5-13 Umsatzanteile deutscher Unternehmen an der Wertschöpfung durch einen weltweiten CSP Ausbau im moderaten GP-Szenario

Quelle: Eigene Darstellung

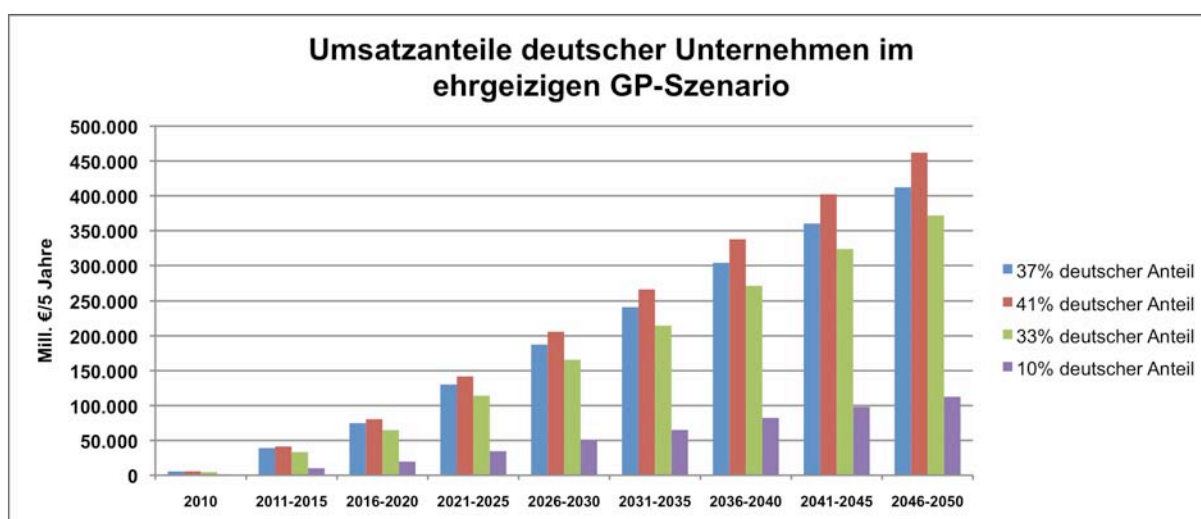


Abb. 5-14 Umsatzanteile deutscher Unternehmen an der Wertschöpfung durch einen weltweiten CSP Ausbau im ehrgeizigen GP-Szenario

Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 5-15 fasst das gesamte Wertschöpfungspotential deutscher Unternehmen im Zeitraum von 2010 bis 2050 zusammen. Basierend auf den berechneten Wertschöpfungspfaden summiert sich dieses im IEA-Referenzpfad auf 7-30 Mrd. €. Das moderate GP-Szenario ergibt 269-1.102 Mrd. € und das ehrgeizige GP-Szenario 476-1.952 Mrd. €.

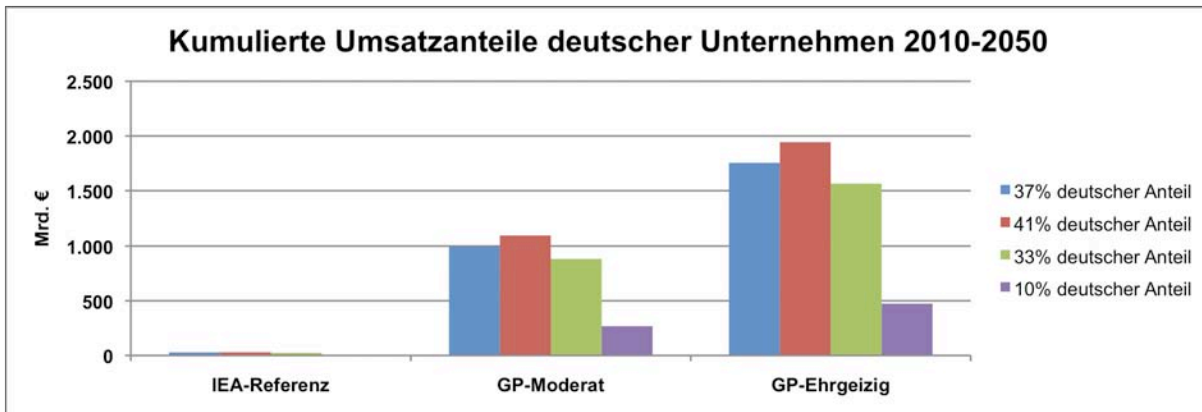


Abb. 5-15 Kumulierte Umsatzanteile deutscher Unternehmen an der Wertschöpfung durch einen weltweiten CSP Ausbau

Quelle: Eigene Darstellung

Diese Zahlen mögen sehr hoch erscheinen, allerdings stellen sie nur einen kleinen Teil der weltweit insgesamt erforderlichen Investitionen im Bereich Energie in den kommenden Jahrzehnten dar. Die Internationale Energie Agentur geht davon aus, dass im Energiesektor bei einer Fortschreibung der aktuellen Entwicklung zwischen 2005 und 2050 Investitionen in Höhe von 182 Billionen Euro notwendig sind, um die wachsende Energienachfrage zu decken. Dies entspräche etwa 6% des weltweiten BIP im gleichen Zeitraum. Auf den Kraftwerkssektor entfällt ein Anteil von rund 5%. Dies entspricht etwa 12,7 Billionen Euro (IEA 2008). Hiervon haben somit die kumulierten Anteile deutscher Unternehmen an CSP-Investitionen in den abgebildeten Szenarien einen Anteil von 0,1-15% und bewegen sich damit in ähnlicher Größenordnung wie die in diesem Szenario angenommenen Anteile von CSP an der weltweiten Stromerzeugung. Aufgrund der Weltwirtschaftskrise ist jedoch davon auszugehen, dass die Gesamtinvestitionen im Kraftwerkssektor zumindest in den kommenden Jahren geringer ausfallen werden als im Jahr 2008 von der Internationalen Energieagentur prognostiziert. Aussagen zu Investitionen im Kraftwerksbereich haften demnach eine hohe Unsicherheit an.

5.5.3 Beschäftigungsvolumen resultierend aus einer deutschen Beteiligung am weltweiten Ausbau von CSP

Eine weltweite Verbreitung von CSP-Technologien gemäß der drei Szenarienpfade wäre mit einem hohen Beschäftigungsvolumen verbunden. Auch für die deutsche Industrie hätte eine solche Entwicklung einen spürbaren Effekt, wenn deutsche Unternehmen wie im vorigen Abschnitt dargestellt an der Wertschöpfung partizipieren würden. Im Folgenden wird das Beschäftigungsvolumen grob quantifiziert. Dabei wird aus Gründen der Vereinfachung im Szenarioverlauf nicht zwischen *neu geschaffenen* und *bereits bestehenden* Arbeitsplätzen differenziert. Stattdessen werden die insgesamt für einen CSP-Ausbau erforderlichen Arbeitsplätze angegeben. Außerdem wird nicht zwischen der Wertschöpfung an inländischen und ausländischen Standorten und Niederlassungen deutscher CSP-Unternehmen unterschieden. Es wird wiederum auf Annahmen der Studie von Greenpeace International et al. (2009) zurückgegriffen, die Arbeitsplatzeffekte pro Megawatt zugebauter CSP-Erzeugungseinheit angibt. Da diese Studie jedoch nur ein Kraftwerk ohne Speicher berücksichtigt (Solar Multiple = 1), stellen die im Folgenden berechneten Beschäftigungseffekte eine untere Gren-

ze dar. Für höhere Volllaststunden würden entsprechende Speicher und größere Solarfelder benötigt, wodurch sich die Arbeitsplatzeffekte weiter erhöhen würden.

Tab. 5-7 fasst das Beschäftigungsvolumen für den Bau und die Realisierung je MW CSP-Erzeugungskapazität in den drei Szenarienpfaden zusammen. In der Tabelle wie in den folgenden Abbildungen handelt es sich um Angaben pro Jahr, um die Angaben mit anderen Studien zum Arbeitsplatzeffekt von erneuerbaren Energien vergleichbar zu machen. Anschließend werden die Zahlen mit der oben angenommenen Beteiligung deutscher Unternehmen an der entstehenden Wertschöpfung verrechnet. Arbeitsplätze für den Betrieb und die Instandhaltung bestehender Kapazitäten werden nicht berücksichtigt, da die angenommenen deutschen Wertschöpfungsanteile sich lediglich auf den Bau *neuer* CSP-Kraftwerke beziehen.

Tab. 5-7: Spezifisches Beschäftigungsvolumen des CSP-Ausbaus

	IEA- Referenz- Szenario	Moderates GP-Szenario	Ehrgeiziges GP-Szenario
	Jobs/MW	Jobs/MW	Jobs/MW
2010	10	10	10
2015	10	10	8,82
2020	10	10	8,55
2030	9	10	8,10
2040	9	9	7,65
2050	8	9	7,20

Quelle: Nach Greenpeace International et al. 2009

Im konservativen IEA-Referenzszenario (Abb. 5-16) nimmt das Beschäftigungsvolumen durch den Ausbau von CSP ab 2020 kontinuierlich ab. Im Jahr 2010 beträgt das Beschäftigungsvolumen unter dem Dach deutscher Unternehmen etwa 663 bis 2.719 Arbeitsplätze, im Jahr 2050 nur noch 128 bis 524.

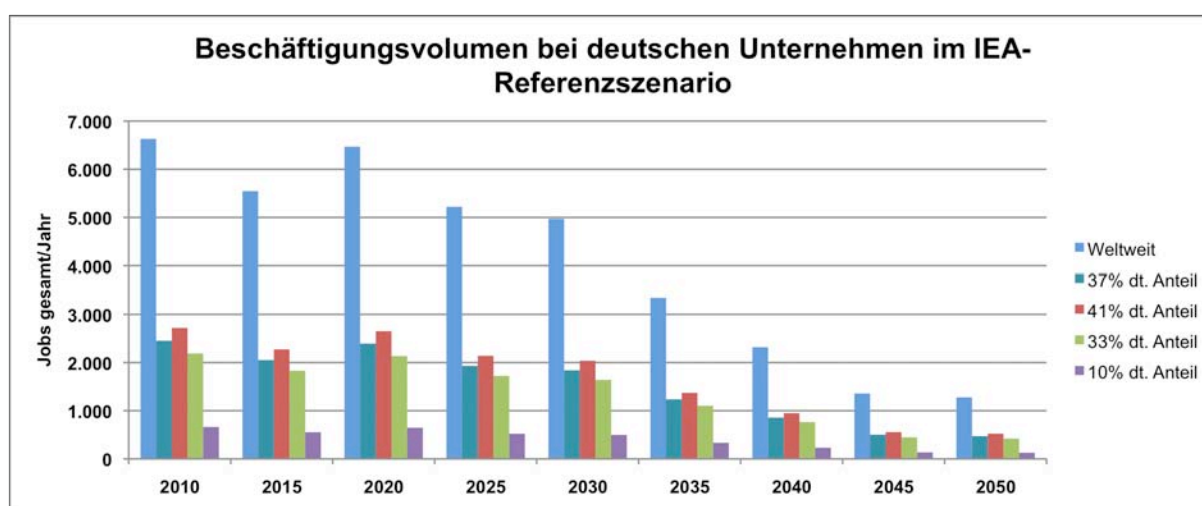


Abb. 5-16 Beschäftigungsvolumen bei deutschen Unternehmen im IEA-Referenzszenario

Quelle: Eigene Darstellung

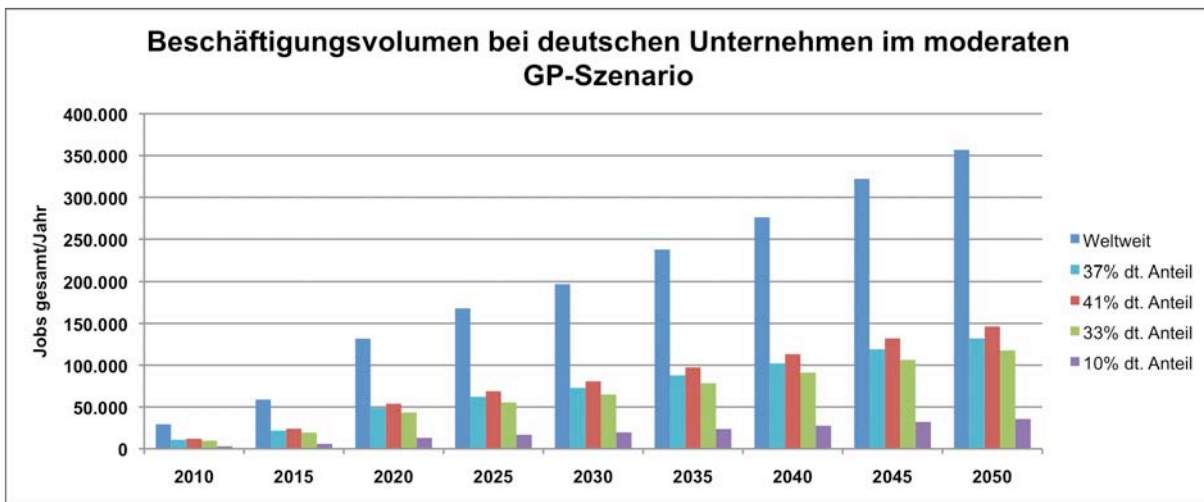


Abb. 5-17 Beschäftigungsvolumen bei deutschen Unternehmen im moderaten GP-Szenario

Quelle: Eigene Darstellung

Im beiden GP-Szenarien ist aufgrund einer höheren Zubaudynamik auch das Beschäftigungsvolumen in deutschen Unternehmen deutlich höher und steigt bis 2050 kontinuierlich an. Im *moderaten Szenario* (Abb. 5-17) wird im Jahr 2010 eine Zahl von 2.935 bis 12.036 Arbeitsplätzen und im Jahr 2050 eine Zahl von 35.690 bis 146.330 Arbeitskräften benötigt. Im *ehrgeizigen Szenario* (Abb. 5-18) beginnt die Entwicklung im Jahr 2010 bei 4.894 bis 20.065 Arbeitsplätzen und endet im Jahr 2050 bei 58.195 bis 238.600 Arbeitsplätzen.

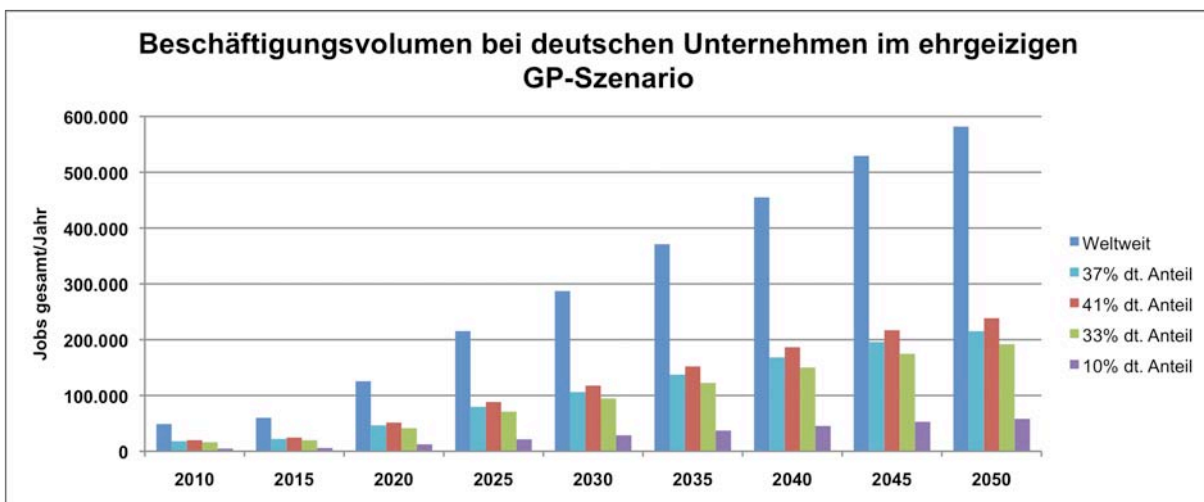


Abb. 5-18 Beschäftigungsvolumen bei deutschen Unternehmen im ehrgeizigen GP-Szenario

Quelle: Eigene Darstellung

Das skizzierte Beschäftigungsvolumen durch einen CSP-Ausbau ist von beachtlicher Größenordnung. Zum Vergleich: Im Jahr 2008 belief sich die Bruttobeschäftigung im Bereich erneuerbare Energien in Deutschland auf 274.700 (BMU 2008). In seiner optimistischen Prognose rechnet das BMU (inklusive solarthermischer Kraftwerke) mit einem Anstieg auf 415.000 Arbeitsplätze im Jahr 2030 (BMU 2006). Das Beschäftigungsvolumen, das aus dem CSP-Ausbau im ehrgeizigen GP-Szenario in deutschen Unternehmen im Jahr 2030 (rund 117.800) resultiert (Wertschöpfungsbeteiligung 41%), entspricht damit allein 30% dieses Wertes.

6 Schlussfolgerungen

Aus der Studie können die folgenden zentralen Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Deutschlands CSP-Industrie ist international gut positioniert. Dies gilt insbesondere für hoch spezialisierte Komponentenzulieferer wie Schott Solar oder Flabeg. Deutsche Generalunternehmer, wie z.B. Solar Millennium, sind zwar an bestehenden und geplanten CSP-Kraftwerken beteiligt, spielen jedoch im Vergleich zu starken spanischen und U.S.-amerikanischen Unternehmen eine eher nachrangige Rolle. Der Ausbau hoch spezialisierter Know-hows mit Blick auf strategisch wichtige und umsatzstarke Komponenten impliziert daher das größte zukünftige Wertschöpfungspotential für deutsche Technologieanbieter.
- Um die prognostizierte Nachfrage nach CSP-Technologien befriedigen zu können, müssten deutsche Marktakteure ihre Produktionskapazitäten deutlich ausbauen. Wie in Kapitel 3 dargestellt, verfügt beispielsweise Schott Solar als derzeit weltweit führender Anbieter der Receivertechnologie über eine Produktionskapazität von lediglich 400 MW, und Siemens benötigt lange Lieferzeiten, um Aufträge für Turbinen für solarthermische Kraftwerke zu erfüllen.
- Der weltweite Ausbau von CSP könnte deutschen Unternehmen enorme Wertschöpfungschancen bieten. Das gesamte Wertschöpfungspotential deutscher Unternehmen beim Bau neuer Kraftwerke im Zeitraum von 2010 bis 2050 summiert sich im *moderaten Szenario* auf 269-1.102 Mrd. €, im *ehrgeizigen Szenario* auf 476-1.952 Mrd. €.
- Der CSP-Ausbau geht mit einem hohen Beschäftigungsvolumen einher. Weltweit wären im Jahr 2050 zwischen 357.000 (*moderates Szenario*) und 582.000 (*ehrgeiziges Szenario*) Arbeitskräfte für den Bau Solarthermischer Kraftwerke notwendig, um die skizzierten Ausbaupfade zu realisieren. Davon könnte die Zahl der Arbeitsplätze unter dem Dach deutscher Unternehmen im *moderaten Szenario* zwischen 36.000 und 146.000 und im *ehrgeizigen Szenario* zwischen 58.000 und 238.600 betragen. Sind deutsche Unternehmen auch in den Betrieb dieser Kraftwerke involviert, würden weitere Arbeitskräfte hinzu kommen.

Es besteht weiterer Forschungsbedarf:

- Das skizzierte Beschäftigungsvolumen, das aus einem Ausbau von CSP entlang der Szenarienpfade resultieren würde, stellt lediglich die *Gesamtzahl* der pro Jahr erforderlichen Arbeitskräfte dar. Es wird nicht gezeigt, wie viele *neue* Arbeitsplätze entstehen. Hier ist eine detailliertere Analyse notwendig.
- Die vorliegende Wertschöpfungsanalyse hat lediglich den Charakter einer groben Schätzung. Für eine genauere Analyse ist eine weitergehende Bewertung der deutschen Kapazitäten hinsichtlich der einzelnen CSP-Komponenten notwendig. Außerdem sollte unterschieden werden zwischen Wertschöpfung, die an inländischen und ausländischen Fertigungsstätten oder Niederlassungen deutscher Unternehmen erbracht worden ist.
- Hierzu ist es ebenso notwendig, die in dieser Studie durchgeführte Analyse auf verschiedene Weltregionen herunterzubrechen und die dortigen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen (Akteurskonstellationen, finanzielle Anreizsysteme, Produktionsbedingungen u.a.).

- Durch eine Regionalisierung könnten zudem die unterschiedlichen Strahlungsbedingungen berücksichtigt werden, die zwischen 2.000 und 2.800 kWh/m₂,a variieren und bei gleicher Leistung bis zu 40% mehr Stromerzeugung ermöglichen.
- Da die Parabolrinnentechnologie derzeit den bei weitem höchsten Anteil der installierten, in Bau befindlichen und geplanten CSP-Anlagen stellt, wurde als Referenzanlage lediglich ein Parabolrinnenkraftwerk betrachtet. In einer weiterführenden Analyse sollte auch die Solarturmtechnologie untersucht werden, insbesondere aufgrund des kürzlich in Betrieb gegangenen Demonstrationskraftwerks in Jülich.

Die Ergebnisse dieser Studie stellen zudem nur eine untere Grenze der Abschätzung dar:

- Der Vorteil von solarthermischen Kraftwerken liegt insbesondere in der Speicherfähigkeit und somit der Möglichkeit, sowohl Grund- als auch Spitzenlast bereit stellen zu können. Hierzu dürften zukünftig weit höhere Speicherdauern als die von uns angenommenen 7,5-Stunden-Speicher vorgesehen werden. Damit werden aber pro Megawatt installierte Leistung auch größere Kollektorfelder sowie ein zweiter oder dritter Speicher installiert werden, was entsprechend höhere Investitionen und Arbeitsplätze verursachen würde.
- Die Studie geht von einer Kraftwerks-Lebensdauer von 40 Jahren aus, so dass bisher kein Ersatz von Kraftwerken in dem Zeitraum bis 2050 einkalkuliert wurde.
- Weiterhin betrachtet sie nur Stromerzeugungs-Kapazitäten und berücksichtigt nicht, dass zum Aufbau von Meerwasserentsalzungsanlagen zusätzliche Kraftwerkskapazität installiert werden müsste (siehe DLR 2007).
- Ebenso könnte zusätzliche Kraftwerkskapazität bei einem erheblichen Ausbau der Elektromobilität bis zum Jahr 2050 benötigt werden. Da ein Umstieg auf Elektroautos aus der Klimaschutzperspektive nur Sinn macht, wenn der dafür benötigte Strom aus (zusätzlich zu installierenden) Erneuerbaren Energien erzeugt würde, böte sich hierfür gegebenenfalls auch CSP-Strom an.

7 Literatur- und Quellenverzeichnis

- BINE-Informationsdienst (2003): Solarthermische Kraftwerke, Projektinfo 12/03, Bonn.
- BMU (Bundesumweltministerium) (2006): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte. Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Kurz- und Langfassung. Berlin.
- BMU (Bundesumweltministerium) (2008): Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2008 – eine erste Abschätzung. Stand: 06. März 2009. Berlin.
- BrightSource Energy; Pacific Gas and Electric Company (2009): PG&E and Brightsource sign Record Solar Power Deal. Pressemitteilung vom 13. Mai 2009.
- Christmann, Ralf (2009a): Mediterranean Solar Plan. Vortrag auf dem Forum „CSP Now!“ auf der HannoverMesse am 20. April 2009.
- Christmann, Ralf (2009b): BMU Research Funding in the Field of Concentrating Solar Power. Vortrag auf dem Forum „CSP Now!“ auf der HannoverMesse am 20. April 2009.
- DESERTEC Foundation (2009): Red Paper. Das DESERTEC-Konzept im Überblick. Berlin.
- DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) 2005: MED CSP – Concentrating Solar Power for the Mediterranean Region. Study prepared for the German Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Edited by Franz Trieb. <http://www.dlr.de/tt/med-csp>. Stuttgart.
- DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) 2006: TRANS CSP – Trans-Mediterranean Interconnection for Concentrating Solar Power. Study prepared for the German Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Edited by Franz Trieb. <http://www.dlr.de/tt/trans-csp>. Stuttgart.
- DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) (2007): AQUA CSP – Concentrating Solar Power for Seawater Desalination. Study prepared for the German Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Edited by Franz Trieb. <http://www.dlr.de/tt/aqua-csp>. Stuttgart.
- DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) (2009): Current CSP Project Development (Status March 2009). Global Concentrating Solar Power Potentials. www.dlr.de/tt/csp-resources/
- ESTELA (2009a): Tower Technology, <http://www.estelasolar.eu/index.php?id=29>, letzter Zugriff am 25.5.2009.
- ESTELA (2009b): Solar Thermal Electricity: Contributing to achieve the 20% of RES in the energy mix by 2020, http://www.estelasolar.eu/fileadmin/ESTELAdocs/documents/2008.05.28_ESTELA_DisseminationDocFull.pdf, letzter Zugriff am 27.4.2009.
- Fichtner Solar (2009): Company Profile, http://www.fichtnersolar.com/fichtnersolar_company_profile.htm, letzter Zugriff am 26.5.2009.
- Flabeg (2008): FLABEG errichtet erste amerikanische Solarspiegel-Produktion. Pressemitteilung vom 25.8.2008.
- Flabeg (2009): Track Record Solar Mirrors 1983-2010, Nürnberg.
- Frick, Frank (2008): Solarstrom in der Nacht. Linde-Tochter baut Speicheranlagen für Sonnenwärme, in: Linde Technology, Nr. 2, S. 34-37.
- Geyer, Michael; Mancini, Thomas (2006): From Research to CSP Market Introduction. Progress and Advances of Concentrating Solar Power Technologies; <http://www.tvworldwide.com/events/eqtv/061016/ppt/Michael%20Geyer.pdf>, letzter Zugriff am 24.5.2009

- Greenpeace International; EREC (2008): Energy[R]evolution: A Sustainable World Energy Outlook. Amsterdam. <http://www.energyblueprint.info/>
- Greenpeace International; Solar Paces; ESTELA (2009): Global Concentrating Solar Power: Outlook 09. Why Renewable Energy is Hot. Amsterdam.
- Hoffschmidt, Bernhard (2009): Overview on Point Focus Technologies. Vortrag auf dem Forum „CSP Now!“ auf der HannoverMesse am 20. April 2009.
- Iberdrola Renovables (2009): Wind Energy, <http://www.iberdrolarenovables.es/wcren/corporativa/iberdrola?IDPAG=ENRENFUENRECUREOL>, letzter Zugriff am 26.05.2009.
- IEA (2008): Energy Technology Perspectives 2008. Scenarios & Strategies to 2050, Paris.
- Kern, Jürgen (2006): The Jordan/Aqaba Solar Water Project – The future of Aqaba is shining bright. Aqua-CSP kick-off meeting in Stuttgart, 15.11.2006.
- Kistner, Rainer (2009): German Participation in the Value-Added Chain of CSP-Plant Construction. Vortrag auf dem Forum “CSP Now!” auf der HannoverMesse am 20. April 2009.
- Knies, Gerhard (2009): How industry can make big business with clean power from deserts for a world with 10 billion people? Vortrag der DESERTEC Foundation auf dem Forum „CSP Now!“ auf der HannoverMesse am 20. April 2009.
- Laing, Dörte; Steinmann, Wolf Dieter; Viebahn, Peter; Gräter, Frieder; Bahl, Carsten 2009: Economic Analysis of Modular Storage Operation Concepts and Life Cycle Assessment of Concrete Thermal Energy Storage for Parabolic Trough Power Plants. Journal of Solar Energy Engineering. To be printed.
- LBBW (Landesbank Baden-Württemberg) 2009: Solardarwinismus – die Besten bleiben ... Branchenanalyse Photovoltaik 2009. Stand vom 20.02.2009. Stuttgart.
- MAN Ferrostaal AG (2008): Geschäftsbericht 2008, Essen.
- Neij, Lena (2003): Experience Curves: A Tool for Energy Policy Assessment, Lund University, European Commission, Lund, http://www.iset.uni-kassel.de/extool/Exttool_final_report.pdf
- Nitsch, Joachim (2008): Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien. Leitstudie 2008. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/42383/main/>
- Ökonews (2009): MAN erhöht Anteil an Solar Power Group. Pressemitteilung vom 1.5.2009.
- Power Engineering International (2009): Siemens Expands Solar Know-how, in: Power Engineering International, April 2009, S. 14.
- Riffelmann, Klaus-Jürgen (2008): Parabolrinnenkraftwerke – Stand der Technik und zukünftige Optionen. Vortrag auf dem Workshop des AK Solarthermische Kraftwerke am 24. September 2008, Jülich.
- Schott AG (2008): Geschäftsbericht 2007/2008, Mainz.
- Schott Solar (2008): Geschäftsbericht 2007/2008, Mainz.
- Selig, Martin (2009): First CSP Plant Based on Nova-1 Fresnel Collector Technology in Operation – Experiences and Outlook. Vortrag auf dem Forum “CSP Now!” auf der HannoverMesse am 20. April 2009.
- Senior plc (2008) : Annual Report and Accounts 2008, Hertfordshire.
- SES (Stirling Energy Systems) (2009): <http://www.stirlingenergy.com/projects/solar-one.asp>
- Siemens AG (2008) : Steam Turbines for Solar Thermal Power Plants. Industrial Steam Turbines, Erlangen.

- Solar Millennium (2008) : Solar Millennium AG. Geschäftsbericht 2007/2008, Erlangen.
- Solar Power Group (2007): Signature of a 3000 MW Strategic Cooperation Agreement with MAN and the Libyan Centre for Solar Research, Pressemitteilung vom 27.2.2007.
- Süddeutsche Zeitung (2009): Solarprojekt Desertec. Hoffen auf die Wüste. Süddeutsche Zeitung online vom 16.06.2009.
- Tamme, Rainer (2006): Development of Storage Systems for SP Plants. DG TREN – DG RTD Consultative Seminar „Concentrating Solar Power“, Brussels, 27. June 2006. http://ec.europa.eu/energy/res/events/doc/tamme_dlr_storage.pdf
- Trieb, Franz; Schillings, Christoph; O'Sullivan, Marlene; Pregger, Thomas; Hoyer-Klick, Carsten (2009): Global Potential of Concentrating Solar Power. Paper submitted to the SolarPaces Conference Berlin, September 2009. www.dlr.de/tt/csp-resources/
- Utz, Bernd (2009): Statement im Rahmen des Vortrages „Steam Turbines for Solar Thermal Power Plants“ auf dem Forum „CSP Now!“ auf der HannoverMesse am 20. April 2009.
- Viebahn Peter; Kronshage, Stefan; Trieb Franz; Lechon Yolanda (2008): Final Report on Technical Data, Costs, and Life Cycle Inventories of Solar Thermal Power Plants. Deliverable 12.2 – RS I a of EU IP-NEEDS. www.needs-project.org .
- Wuppertal Institut (Ed.) (2009): Towards an Effective and Equitable Climate Change Agreement. A Wuppertal Proposal for Post-2012. http://www.wupperinst.org/de/info/entwd/index.html?beitrag_id=1092&bid=6

8 Anhang

Tab. 8-1: Entwicklung der jährlichen CSP-Zubaukosten für die drei Greenpeace-Szenarien

IEA-Referenz		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Kollektorfeld	Mio €/a					1.232	1.407	969	934	905	882	862	1.124	1.098	1.075	1.055	1.037	874	863	853	844	835
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a					560	676	479	472	466	461	457	606	600	595	591	587	498	496	493	491	489
Speicher	Mio €/a					337	385	265	256	248	241	236	308	301	294	289	284	239	236	234	231	229
Rest	Mio €/a					730	915	660	660	660	660	660	885	885	885	885	885	756	756	756	756	756
Summe	Mrd. €/a					2,9	3,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3
GP-Moderat		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Kollektorfeld	Mio €/a					1.232	5.315	6.517	6.041	5.725	5.492	5.309	10.783	10.325	9.969	9.680	9.437	14.764	14.337	13.978	13.671	13.402
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a					560	2.809	3.726	3.614	3.537	3.479	3.432	7.211	7.087	7.059	7.059	7.059	11.435	11.435	11.435	11.435	11.435
Speicher	Mio €/a					337	1.455	1.784	1.654	1.567	1.503	1.453	2.952	2.826	2.729	2.650	2.583	4.041	3.925	3.826	3.742	3.669
Rest	Mio €/a					730	4.050	5.664	5.664	5.664	5.664	5.664	12.176	12.176	12.176	12.176	12.176	19.725	19.725	19.725	19.725	19.725
Summe	Mrd. €/a					2,9	14	18	17	16	16	16	33	32	32	32	31	50	49	49	49	48
GP-Ehrgeizig		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Kollektorfeld	Mio €/a					1.398	5.413	7.851	7.239	6.844	6.556	6.331	12.952	12.390	11.955	11.603	11.308	20.303	19.644	19.103	18.644	18.249
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a					641	2.873	4.553	4.407	4.309	4.236	4.177	8.849	8.787	8.787	8.787	8.787	16.423	16.423	16.423	16.423	16.423
Speicher	Mio €/a					383	1.482	2.149	1.982	1.873	1.795	1.733	3.545	3.392	3.273	3.176	3.095	5.558	5.377	5.229	5.104	4.995
Rest	Mio €/a					840	4.154	6.988	6.988	6.988	6.988	6.988	15.157	15.157	15.157	15.157	15.157	28.329	28.329	28.329	28.329	28.329
Summe	Mrd. €/a					3	14	22	21	20	20	19	41	40	39	39	38	71	70	69	69	68

IEA-Referenz		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	SUMME
Kollektorfeld	Mio €/a	832	825	817	810	804	606	603	599	596	593	442	440	439	437	435	222	222	221	221	221	220	220	219	219	219	28.333
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a	490	489	487	485	484	366	365	364	364	363	271	271	270	270	269	138	137	137	137	137	137	137	137	137	137	15.995
Speicher	Mio €/a	228	226	224	222	220	166	165	164	163	162	121	121	120	120	119	61	61	61	60	60	60	60	60	60	60	7.756
Rest	Mio €/a	761	761	761	761	761	577	577	577	577	577	432	432	432	432	432	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	24.201
Summe	Mrd. €/a	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	76
GP-Moderat		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	SUMME
Kollektorfeld	Mio €/a	16.734	16.401	16.106	15.842	15.604	18.703	18.415	18.153	17.914	17.693	21.326	21.048	20.793	20.556	20.335	23.933	23.663	23.411	23.176	22.955	26.638	26.371	26.121	25.886	25.663	679.417
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a	14.605	14.605	14.605	14.605	14.605	17.804	17.804	17.804	17.804	17.804	21.764	21.764	21.764	21.764	21.764	25.926	25.926	25.926	25.926	25.926	30.406	30.406	30.406	30.406	30.406	666.331
Speicher	Mio €/a	4.581	4.490	4.409	4.337	4.271	5.120	5.041	4.969	4.904	4.843	5.838	5.762	5.692	5.627	5.567	6.551	6.478	6.409	6.344	6.284	7.292	7.219	7.151	7.086	7.025	185.985
Rest	Mio €/a	25.193	25.193	25.193	25.193	25.193	30.712	30.712	30.712	30.712	30.712	37.543	37.543	37.543	37.543	37.543	44.722	44.722	44.722	44.722	44.722	52.451	52.451	52.451	52.451	52.451	1.145.712
Summe	Mrd. €/a	61	61	60	60	60	72	72	72	71	71	86	86	86	85	85	101	101	100	100	100	117	116	116	116	116	2.677
GP-Ehrgeizig		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	SUMME
Kollektorfeld	Mio €/a	26.843	26.192	25.630	25.138	24.701	32.276	31.671	31.132	30.648	30.207	38.476	37.876	37.331	36.832	36.374	43.517	42.950	42.427	41.942	41.490	47.811	47.281	46.787	46.324	45.889	1.115.529
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a	24.852	24.852	24.852	24.852	24.852	33.165	33.165	33.165	33.165	33.165	42.976	42.976	42.976	42.976	42.976	52.148	52.148	52.148	52.148	52.148	60.810	60.810	60.810	60.810	60.810	1.221.061
Speicher	Mio €/a	7.348	7.170	7.016	6.881	6.762	8.835	8.670	8.522	8.390	8.269	10.533	10.368	10.219	10.083	9.957	11.913	11.757	11.614	11.481	11.358	13.088	12.943	12.808	12.681	12.562	305.368
Rest	Mio €/a	42.869	42.869	42.869	42.869	42.869	57.210	57.210	57.210	57.210	57.210	74.134	74.134	74.134	74.134	74.134	89.956	89.956	89.956	89.956	89.956	104.897	104.897	104.897	104.897	104.897	2.102.694
Summe	Mrd. €/a	102	101	100	100	99	131	131	130	129	129	166	165	165	164	163	198	197	196	196	195	227	226	225	225	224	4.745

Quelle: Eigene Darstellung

Tab. 8-2: Entwicklung der deutschen Wertschöpfung gemäß der CSP-Ausbauszenarien (IEA-Referenzszenario)

Referenzszenario												
Deutscher Wertschöpfungsanteil:	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		141,7	458,6	543,0	430,2	412,0	302,0	221,0	111,5	110,5	2.731
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		68,2	235,5	300,4	249,0	245,6	183,8	136,3	69,3	69,0	1.557
Speicher	Mio €/a		40,0	129,6	153,4	121,6	116,4	85,3	62,4	31,5	31,2	772
Rest	Mio €/a		91,5	330,1	442,4	377,8	380,3	288,6	215,8	110,3	110,3	2.347
Summe	Mio €/a		341,5	1.153,8	1.439,3	1.178,6	1.154,3	859,8	635,5	322,5	321,1	7.406
	Mrd. €/a		0,3	1,2	1,4	1,2	1,2	0,9	0,6	0,3	0,3	7,4
Deutscher Wertschöpfungsanteil:	%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		467,6	1.513,2	1.792,0	1.419,7	1.359,5	996,7	729,2	367,9	364,8	9.011
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		225,1	777,2	991,4	821,6	810,6	606,6	449,7	228,6	227,8	5.139
Speicher	Mio €/a		132,1	427,6	506,4	401,2	384,1	281,6	206,1	104,0	103,1	2.546
Rest	Mio €/a		301,9	1.089,3	1.460,0	1.246,9	1.255,1	952,2	712,2	363,9	363,9	7.745
Summe	Mio €/a		1.126,8	3.807,4	4.749,7	3.889,3	3.809,3	2.837,2	2.097,3	1.064,3	1.059,5	24.441
	Mrd. €/a		1,1	3,8	4,7	3,9	3,8	2,8	2,1	1,1	1,1	24
Deutscher Wertschöpfungsanteil	%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		816,6	2.642,4	3.129,2	2.479,1	2.373,9	1.740,5	1.273,4	642,4	637,0	15.735
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		245,6	847,9	1.081,5	896,3	884,3	661,8	490,6	249,4	248,5	5.606
Speicher	Mio €/a		4,0	13,0	15,3	12,2	11,6	8,5	6,2	3,2	3,1	77
Rest	Mio €/a		291,9	1.053,0	1.411,3	1.205,3	1.213,2	920,5	688,5	351,7	351,7	7.487
Summe	Mio €/a		1.358,0	4.556,3	5.637,4	4.592,9	4.483,1	3.331,3	2.458,7	1.246,7	1.240,4	28.905
	Mrd. €/a		1,4	4,6	5,6	4,6	4,5	3,3	2,5	1,2	1,2	29
Deutscher Wertschöpfungsanteil	%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		581,0	1.880,1	2.226,4	1.763,9	1.689,0	1.238,4	906,0	457,1	453,2	11.195
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		279,7	965,7	1.231,7	1.020,7	1.007,1	753,7	558,7	284,0	283,0	6.384
Speicher	Mio €/a		164,2	531,2	629,1	498,4	477,3	349,9	256,0	129,2	128,1	3.163
Rest	Mio €/a		375,1	1.353,4	1.814,0	1.549,2	1.559,3	1.183,1	884,9	452,1	452,1	9.623
Summe	Mio €/a		1.400,0	4.730,4	5.901,2	4.832,2	4.732,7	3.525,0	2.605,7	1.322,3	1.316,4	30.366
	Mrd. €/a		1,4	4,7	5,9	4,8	4,7	3,5	2,6	1,3	1,3	30

Quelle: Eigene Darstellung

Tab. 8-3: Entwicklung der deutschen Wertschöpfung gemäß der CSP-Ausbauszenarien von Greenpeace (Moderates Szenario)

Moderate-Szenario												
Deutscher Wertschöpfungsanteil	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		535,5	2.930,3	5.057,1	7.067,9	8.129,4	9.156,0	10.484,0	11.801,9	13.166,2	68.328
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		283,4	1.794,7	3.560,1	5.717,5	7.302,3	8.902,0	10.882,0	12.962,9	15.203,1	66.608
Speicher	Mio €/a		151,3	828,0	1.429,0	1.997,2	2.297,1	2.587,2	2.962,4	3.334,8	3.720,3	19.307
Rest	Mio €/a		405,0	2.832,2	6.088,0	9.862,7	12.596,5	15.356,0	18.771,5	22.361,0	26.225,4	114.498
Summe	Mio €/a		1.375,3	8.385,2	16.134,2	24.645,3	30.325,4	36.001,2	43.099,9	50.460,6	58.315,1	268.742
	Mrd €/a		1,4	8,4	16,1	24,6	30,3	36,0	43,1	50,5	58,3	269
Deutscher Wertschöpfungsanteil	%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		1.767,3	9.670,0	16.688,5	23.324,2	26.827,1	30.214,9	34.597,2	38.946,3	43.448,5	225.484
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		935,2	5.922,5	11.748,2	18.867,8	24.097,7	29.376,6	35.910,6	42.777,5	50.170,3	219.806
Speicher	Mio €/a		499,4	2.732,4	4.715,6	6.590,7	7.580,5	8.537,8	9.776,0	11.005,0	12.277,1	63.714
Rest	Mio €/a		1.336,6	9.346,2	20.090,4	32.547,0	41.568,5	50.674,6	61.945,8	73.791,2	86.543,8	377.844
Summe	Mio €/a		4.538,4	27.671,1	53.242,8	81.329,6	100.073,7	118.803,9	142.229,6	166.519,9	192.439,7	886.849
	Mrd €/a		4,5	27,7	53,2	81,3	100,1	118,8	142,2	166,5	192,4	887
Deutscher Wertschöpfungsanteil	%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		3.086,0	16.885,9	29.141,7	40.729,0	46.845,9	52.761,6	60.414,0	68.008,5	75.870,3	393.743
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		1.020,2	6.460,9	12.816,2	20.583,1	26.288,4	32.047,2	39.175,2	46.666,4	54.731,2	239.789
Speicher	Mio €/a		15,1	82,8	142,9	199,7	229,7	258,7	296,2	333,5	372,0	1.931
Rest	Mio €/a		1.292,0	9.034,6	19.420,7	31.462,1	40.182,8	48.985,5	59.880,9	71.331,5	83.659,0	365.249
Summe	Mio €/a		5.413,4	32.464,2	61.521,5	92.973,8	113.546,8	134.053,0	159.766,4	186.339,8	214.632,5	1.000.711
	Mrd. €/a		5,4	32,5	61,5	93,0	113,5	134,1	159,8	186,3	214,6	1.001
Deutscher Wertschöpfungsanteil	%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		2.195,7	12.014,2	20.734,2	28.978,5	33.330,7	37.539,7	42.984,4	48.387,8	53.981,5	280.147
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		1.161,9	7.358,2	14.596,2	23.441,8	29.939,5	36.498,2	44.616,2	53.147,8	62.332,8	273.093
Speicher	Mio €/a		620,4	3.394,8	5.858,8	8.188,4	9.418,2	10.607,5	12.146,0	13.672,8	15.253,4	79.160
Rest	Mio €/a		1.660,6	11.611,9	24.960,8	40.437,2	51.645,7	62.959,4	76.962,9	91.680,0	107.524,1	469.443
Summe	Mio. €/a		5.638,6	34.379,2	66.150,1	101.045,9	124.334,1	147.604,8	176.709,5	206.888,4	239.091,7	1.101.842
	Mrd. €/a		5,6	34,4	66,2	101,0	124,3	147,6	176,7	206,9	239,1	1.102

Quelle: Eigene Darstellung

Tab. 8-4: Entwicklung der deutschen Wertschöpfung gemäß der CSP-Ausbauszenarien von Greenpeace (Ehrgeiziges Szenario)

Advanced-Szenario												
Deutscher Wertschöpfungsanteil	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		545,3	3.508,1	6.066,0	9.666,4	12.947,1	15.710,7	18.829,4	21.392,3	23.585,3	112.251
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		289,8	2.187,4	4.407,4	8.211,4	12.425,8	16.582,5	21.488,0	26.074,2	30.405,0	122.072
Speicher	Mio €/a		154,1	991,3	1.714,1	2.731,4	3.658,4	4.439,3	5.320,6	6.044,8	6.664,5	31.718
Rest	Mio €/a		415,4	3.494,0	7.578,5	14.164,6	21.434,6	28.604,8	37.066,8	44.977,9	52.448,7	210.185
Summe	Mio. €/a		1.404,6	10.180,9	19.766,1	34.773,8	50.465,9	65.337,3	82.704,7	98.489,1	113.103,5	476.226
	Mrd. €/a		1,4	10,2	19,8	34,8	50,5	65,3	82,7	98,5	113,1	476
Deutscher Wertschöpfungsanteil	%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		1.799,6	11.576,8	20.017,9	31.899,3	42.725,4	51.845,4	62.136,9	70.594,5	77.831,6	370.427
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		956,3	7.218,5	14.544,6	27.097,5	41.005,3	54.722,2	70.910,4	86.044,7	100.336,6	402.836
Speicher	Mio €/a		508,5	3.271,2	5.656,4	9.013,7	12.072,8	14.649,8	17.557,9	19.947,7	21.992,7	104.671
Rest	Mio €/a		1.370,8	11.530,3	25.009,2	46.743,2	70.734,1	94.395,8	122.320,4	148.427,2	173.080,7	693.612
Summe	Mio. €/a		4.635,2	33.596,9	65.228,1	114.753,6	166.537,6	215.613,2	272.925,6	325.014,1	373.241,7	1.571.546
	Mrd. €/a		4,6	33,6	65,2	114,8	166,5	215,6	272,9	325,0	373,2	1.572
Deutscher Wertschöpfungsanteil	%		37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		3.142,5	20.215,6	34.955,6	55.702,9	74.607,6	90.533,0	108.504,2	123.272,9	135.910,6	646.845
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		1.043,3	7.874,8	15.866,8	29.560,9	44.733,0	59.696,9	77.356,8	93.867,0	109.458,1	439.458
Speicher	Mio €/a		15,4	99,1	171,4	273,1	365,8	443,9	532,1	604,5	666,4	3.172
Rest	Mio €/a		1.325,1	11.145,9	24.175,6	45.185,1	68.376,3	91.249,2	118.243,1	143.479,6	167.311,3	670.491
Summe	Mio €/a		5.526,2	39.335,4	75.169,3	130.722,0	188.082,7	241.923,1	304.636,2	361.223,9	413.346,5	1.759.965
	Mrd. €/a		5,5	39,3	75,2	130,7	188,1	241,9	304,6	361,2	413,3	1.760
Deutscher Wertschöpfungsanteil	%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	
		2009	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Summe
Kollektorfeld	Mio €/a		2.235,9	14.383,3	24.870,8	39.632,4	53.083,1	64.413,9	77.200,4	87.708,3	96.699,9	460.228
PB & BOP & Anpassung	Mio €/a		1.188,2	8.968,5	18.070,5	33.666,6	50.945,9	67.988,2	88.100,8	106.904,1	124.660,7	500.493
Speicher	Mio €/a		631,8	4.064,3	7.027,7	11.198,8	14.999,6	18.201,3	21.814,3	24.783,5	27.324,3	130.046
Rest	Mio €/a		1.703,1	14.325,5	31.072,0	58.074,8	87.881,8	117.279,6	151.973,9	184.409,5	215.039,6	861.760
Summe	Mio. €/a		5.758,9	41.741,6	81.041,0	142.572,7	206.910,3	267.883,0	339.089,4	403.805,3	463.724,5	1.952.527
	Mrd. €/a		5,8	41,7	81,0	142,6	206,9	267,9	339,1	403,8	463,7	1.953

Quelle: Eigene Darstellung

